



(10) **DE 10 2015 212 669 B4** 2018.05.03

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 212 669.2**
(22) Anmeldetag: **07.07.2015**
(43) Offenlegungstag: **12.01.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.05.2018**

(51) Int Cl.: **B81B 7/02 (2006.01)**
B81B 3/00 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
G01P 15/125 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373
München, DE**

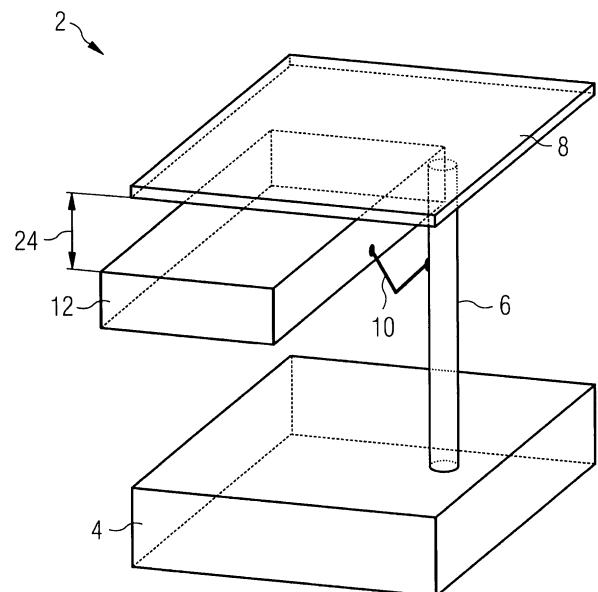
(72) Erfinder:
**Kautzsch, Thoralf, Dr., 01309 Dresden, DE;
Froehlich, Heiko, 01445 Radebeul, DE; Vogt,
Mirko, 01328 Dresden, DE; Stegemann, Maik,
01705 Pesterwitz, DE; Winkler, Bernhard, 93049
Regensburg, DE; Röth, Andre, 01069 Dresden,
DE; Bieselt, Steffen, 01829 Stadt Wehlen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|----|------------------|----|
| DE | 100 03 066 | A1 |
| DE | 10 2011 112 879 | A1 |
| US | 2007 / 0 119 252 | A1 |
| US | 2011 / 0 174 074 | A1 |
| WO | 2014/ 207 709 | A1 |

(54) Bezeichnung: **Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung und Verfahren zum Ausbilden einer kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine schematische Veranschaulichung einer kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung 2 wird gezeigt. Die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung 2 umfasst ein Halbleitersubstrat 4, eine Stützstruktur 6, ein Elektrodenelement 8, ein Federelement 10 und eine seismische Masse 12. Die Stützstruktur 6, beispielsweise eine Stange, eine Aufhängung oder ein Pfosten, ist fest mit dem Halbleitersubstrat 4 verbunden, welches Silizium umfassen kann. Das Elektrodenelement 8 ist fest mit der Stützstruktur 6 verbunden. Darüber hinaus ist die seismische Masse 12 über das Federelement 10 mit der Stützstruktur 6 verbunden, so dass die seismische Masse 12 in Bezug auf das Elektrodenelement 8 verschiebbar, auslenkbar oder beweglich ist. Darüber hinaus bilden die seismische Masse und das Elektrodenelement einen Kondensator mit einer Kapazität aus, welche von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse und dem Elektrodenelement abhängt.



Beschreibung

[0001] Ausführungsformen betreffen eine kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung und ein Verfahren zum Ausbilden der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung. Ausführungsformen zeigen einen Beschleunigungssensor oder einen Beschleunigungsmesser mit verbesserter Stressentkopplung.

[0002] Beschleunigungssensoren oder Beschleunigungsmesser sind Massenprodukte in der Automobil- und Konsumgüterelektronik. Daher sind beispielsweise Systeme erwünscht, welche einen einfachen Schwellen(wert)schalter oder einen Schwellendetektor in ein ASIC (Application Specific Integrated Circuit, anwendungsspezifische integrierte Schaltung) integrieren. Ein solches System kann beispielsweise ein TPMS-Sensor (Tire Pressure Monitoring System, Reifendrucküberwachungssystem) sein.

[0003] Migrieren oder Konvertieren der Systeme in neue oder kleinere Technologieknoten stellt eine Herausforderung dar, da eine Komplexität der CMOS-Prozesse (Complementary Metal Oxide Semiconductor, komplementäre Metalloxid-Halbleiter) nicht unnötig erhöht werden soll und ein bestehendes Integrationsschema der CMOS-Schaltung mit niedrigstmöglichen Entwicklungsanstrengungen beibehalten werden soll.

[0004] Für Technologien, welche 130-nm-Prozesstechnologien und darunter verwenden, ist beispielsweise die Erwägung einer Topologie der Frontend-of-Line-Strukturen wichtig. Sie sollten eine Gesamtdicke von einigen hundert Nanometern nicht überschreiten, um einen typischerweise verwendeten BPSG (Bor-Phosphat-Silikat-Glas)-Polierschritt nicht zu beeinflussen. Jedoch werden z. B. Beschleunigungsmesser mit einer Montagetechnik unter Verwendung einer dicken polykristallinen Schicht ausgebildet. Ferner ist eine Reduzierung auf eine niedrigstmögliche Menge von zusätzlichen Schritten und eine gemeinsame Nutzung von verfügbaren oder vorliegenden Prozessen für eine erfolgreiche Integration vorteilhaft.

[0005] Eine weitere Herausforderung ist die Interaktion von Gehäuse und Sensor. In kapazitiven Sensoren sind Kondensatorelemente je nach der Art des Gehäuses wesentlichem oder signifikantem Stress ausgesetzt. Daher werden oft spezielle Gehäuse verwendet, welche zu einer erheblichen Kostenkomponente des totalen oder gesamten Systems beitragen.

[0006] Ferner gibt es weitere Vorschläge, wie eine integrierte Struktur in einem Substrat implementiert wird. Sie sind entweder sehr teuer oder schwierig, in einem CMOS-Prozess zu integrieren. Darüber hinaus sind viele der heute verfügbaren kapazitiven Ar-

beitsstrukturen gegenüber Stresseinwirkungen von einem Paket extrem anfällig.

[0007] Die US 2007/0119252 A1 bezieht sich auf eine Dreiaachsen-Beschleunigungsmesseinrichtung. Die mikroelektromechanische (MEMS) Beschleunigungsmesseinrichtung umfasst ein Substrat, einen ersten Sensor und einen zweiten Sensor. Der erste Sensor ist konfiguriert, um eine Beschleunigung entlang einer ersten Achse parallel zu der Ebene des Substrats zu messen. Der zweite Sensor ist konfiguriert, um eine Beschleunigung entlang einer Achse senkrecht zu der Ebene des Substrats zu messen. Der zweite Sensor weist einen ersten Balken, einen zweiten Balken und eine einzelne Tragestruktur auf. Die einzelne Tragestruktur unterstützt den ersten und zweiten Balken relativ zu dem Substrat, wobei der erste und zweite Balken den ersten Sensor umlaufen.

[0008] Die WO 2014/207709 A1 bezieht sich auf einen kapazitiven, mikromechanischen Beschleunigungssensor mit einem ersten Sensor, einem zweiten Sensor, und einem dritten Sensor.

[0009] Die DE 100 03 066 A1 bezieht sich auf einen Halbleitersensor für eine physikalische Größe und ein Verfahren zum Herstellen desselben.

[0010] Die US 2011/0174074 A1 bezieht sich auf ein in einem Rahmen angeordnetes Wandlerbauelement.

[0011] Die DE 10 2011 112 879 A1 bezieht sich auf eine Halbleiterherstellung und ein Halbleiterbauelement mit einer Halbleiterstruktur.

[0012] Daher besteht ein Bedarf für einen verbesserten Ansatz.

[0013] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Konzept zum Ausbilden kapazitiver mikroelektromechanischer Vorrichtungen bereitzustellen. Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst.

[0014] Ausführungsformen basieren auf der Erkenntnis, dass die (aktiven) Elemente der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung, welche den Kondensator der Vorrichtung ausbilden, mit einer (einzelnen) Stange oder einer (starrten) Aufhängung verbunden oder daran fixiert sind. Diese Verbindung ist vorteilhafterweise die einzige Verbindung zwischen den Elementen des Kondensators und dem Gehäuse. Zum Aufbau einer solchen Struktur kann eine SON-Struktur (Silicon-on-Nothing-Struktur, Silizium-auf-Nichts-Struktur) verwendet werden, um eine seismische Masse innerhalb des Halbleitersubstrats auszubilden. Die seismische Masse ist selbststützend und mit der Stange verbunden. Ferner ist eine Gegenelektrode gegenüber der seismischen Mas-

se ausgebildet und fest mit der Stange verbunden. Daher ist das Sensorelement (oder der Kondensator) weitgehend unabhängig von einem Stress des Gehäuses oder einem Stress, welcher vom Gehäuse und weiteren unerwünschten externen mechanischen Einflüssen oder Einwirkungen induziert wird. Ein Stress oder andere mechanische Einwirkungen können beispielsweise aufgrund von Temperaturunterschieden oder externen Kräften, welche das Gehäuse angreifen oder eine Einwirkung auf das Gehäuse haben, induziert werden. Ferner ist eine solche Implementierung die Möglichkeit, den Sensor monolithisch mit einem ASIC zu integrieren. Mit anderen Worten ist ein Ausbilden eines diskreten Beschleunigungssensors, Beschleunigungsmessers oder G-Sensors, welcher im (Silizium-)Substrat implementiert oder integriert ist, vielversprechend. Dies ermöglicht eine Verwendung einer monokristallinen Struktur, um die mikroelektromechanische Vorrichtung mit allen damit verbundenen Vorteilen auszubilden.

[0015] Ausführungsformen zeigen eine kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung. Die Vorrichtung umfasst ein Halbleitersubstrat, eine Stützstruktur, ein Elektrodenelement, ein Federelement und eine seismische Masse. Die Stützstruktur, wie beispielsweise eine Stange oder Aufhängung, ist fest mit dem Substrat verbunden, beispielsweise einem (Silizium-)Halbleitersubstrat. Darüber hinaus ist das Elektrodenelement bzw. die Gegenelektrode fest mit der Stützstruktur verbunden. Ferner ist die seismische Masse über das Federelement mit der Stützstruktur verbunden, so dass die seismische Masse in Bezug auf das Elektrodenelement verschiebbar oder beweglich ist. Daher bilden die seismische Masse und das Elektrodenelement einen Kondensator mit einer Kapazität aus, welche von einer Verschiebung zwischen einer seismischen Masse und dem Elektrodenelement abhängt. Der (einzige) Kontaktpunkt zwischen dem Halbleitersubstrat, welches das Gehäuse ausbilden kann, und den Sensorelementen, beispielsweise dem Kondensator, welcher durch das Elektrodenelement und die seismische Masse ausgebildet wird, ist die Stützstruktur. Extern induzierter Stress wird daher nur über die Stützstruktur, welche vorteilhafterweise nur in einem kleinen Bereich mit dem Substrat verbunden ist, zum Kondensator übertragen.

[0016] Mit anderen Worten kann ein Volumen der Stützstruktur im Vergleich zu einem Volumen der seismischen Masse wenigstens zehnmal kleiner sein. Ferner ist ein Querschnittsbereich der Stützstruktur an einem Seitenwandteil zwischen der Stützstruktur und dem Substrat im Vergleich zu einem MEMS-Oberflächenbereich der seismischen Masse wenigstens viermal kleiner. Mit anderen Worten erstreckt sich ein Verbindungspunkt der Stützstruktur zum Halbleitersubstrat auf einen Bereich, welcher kleiner oder gleich einem Viertel eines Hauptoberflä-

chenbereichs oder einer effektiven Größe der seismischen Masse sein kann.

[0017] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Halbleitersubstrat eine Vertiefung. Die Stützstruktur ist daher innerhalb der Grundfläche der Vertiefung fest mit dem Substrat verbunden. Darüber hinaus umfassen die Stützstruktur, das Elektrodenelement, das Federelement und die seismische Masse ein Material des Halbleitersubstrats oder ein anderes leitendes Material, wie beispielsweise polykristallines Silizium. Mit anderen Worten kann die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung vollständig aus dem Halbleitersubstrat ausgebildet sein, beispielsweise mittels Ätzen des Halbleitersubstrats.

[0018] Das Elektrodenelement und die seismische Masse können z. B. unter Verwendung eines weiteren SON-Prozesses getrennt oder strukturiert sein. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind wenigstens die Stützstruktur, die seismische Masse und das Federelement mittels Ätzen des Halbleitersubstrats ausgebildet, wobei das Elektrodenelement in einem weiteren Verarbeitungsschritt abgeschieden werden kann. Daher kann das Halbleitersubstrat einen Teil des Gehäuses mit z. B. fünf von sechs Seitenwänden des Gehäuses ausbilden, welches wenigstens teilweise geschaffen wird. Um ein komplettes Gehäuse auszubilden, kann ein Dichtelement angeordnet und ausgelegt sein, um die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung hermetisch abzudichten, so dass die Stützstruktur, das Elektrodenelement und die seismische Masse innerhalb der Grundfläche des Substrats und des Dichtelements angeordnet sind. Mit anderen Worten können das Dichtelement und das Substrat ein hermetisch abgedichtetes Gehäuse des Kondensators ausbilden.

[0019] Das Verfahren zum Ausbilden der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung kann einen Venezia-Prozess umfassen, um die seismische Masse innerhalb des Halbleitersubstrats auszubilden oder wenigstens einen unteren Bereich der seismischen Masse von der Unterseite des Halbleitersubstrats zu trennen, so dass die seismische Masse in Bezug auf die Gegenelektrode oder das Elektrodenelement bewegt oder verschoben werden kann, ohne das Halbleitersubstrat zu berühren. Ferner kann ein Rundum-Graben die seismische Masse nach dem Anwenden des Venezia-Prozesses vom Halbleitersubstrat vollständig trennen. Der Rundum-Graben kann unter Verwendung herkömmlicher Ätzprozesse geätzt werden, wobei eine Verbindung von der seismischen Masse zum Federelement ausgelassen wird. Daher wird die seismische Masse als Silicon-Nothing-Struktur geschaffen.

[0020] Bevor Ausführungsformen anhand der beigefügten Figuren im Detail beschrieben werden, sei darauf hingewiesen, dass den gleichen oder funk-

tionell gleichen Elementen die gleichen Bezugszeichen in den Figuren gegeben sind und dass auf eine wiederholte Beschreibung für Elemente, welche mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind, verzichtet wird. Daher sind Beschreibungen, welche für Elemente mit den gleichen Bezugszeichen bereitgestellt werden, gegenseitig austauschbar.

[0021] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert, wobei:

Fig. 1 eine schematische Veranschaulichung der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung zeigt;

Fig. 2a eine schematische Querschnittsansicht der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung in einer Seitenansicht zeigt;

Fig. 2b eine schematische Querschnittsansicht der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung aus einer Draufsicht zeigt;

Fig. 2c eine schematische Veranschaulichung eines Abschnitts der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung zeigt;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zeigt;

Fig. 4a-g eine schematische Sequenz der Draufsicht und Querschnittsansichten der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung nach relevanten Verarbeitungsschritten zeigen;

Fig. 5 eine schematische Darstellung der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform mit einer anderen Struktur der Stützstruktur und des Federelements zeigt;

Fig. 6a eine schematische Veranschaulichung einer Silicon-on-Nothing-Struktur mit rückseitenmontierter Substratfixierung zeigt;

Fig. 6b einen schematischen FIB-Schnitt (Focused Ion Beam, fokussierter Ionenstrahl) durch eine Hohlraumstruktur mit hochpräziser Geometrie zeigt;

Fig. 6c eine Nahaufnahme einer Hohlraumstruktur zeigt, welche unter Verwendung eines Kohlenstoffopferschichtprozesses ausgebildet ist;

Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild eines Verfahrens zum Ausbilden der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung zeigt;

Fig. 8 ein schematisches Blockschaltbild des Verfahrens aus **Fig. 7** veranschaulicht, welches weitere optionale Verarbeitungsschritte zeigt.

[0022] Im Folgenden werden Ausführungsformen der Erfindung in weiteren Einzelheiten beschrieben.

In den jeweiligen Figuren gezeigte Elemente mit gleicher oder einer ähnlichen Funktionalität weisen die damit assoziierten gleichen Bezugszeichen auf.

[0023] **Fig. 1** zeigt eine schematische Veranschaulichung einer kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2**. Die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung **2** umfasst ein Halbleitersubstrat **4**, eine Stützstruktur **6**, ein Elektrodenelement **8**, ein Federelement **10** und eine seismische Masse **12**. Die Stützstruktur **6**, beispielsweise eine Stange, eine Aufhängung oder ein Pfosten, ist fest mit dem Halbleitersubstrat **4** verbunden, welches Silizium umfassen kann. Das Elektrodenelement **8** ist fest mit der Stützstruktur **6** verbunden. Darüber hinaus ist die seismische Masse **12** über das Federelement **10** mit der Stützstruktur **6** verbunden, so dass die seismische Masse **12** in Bezug auf das Elektrodenelement **8** verschiebbar, auslenkbar oder beweglich ist. Mit anderen Worten kann die Größe eines Spalts **24** zwischen der seismischen Masse **12** und dem Elektrodenelement variieren, beispielsweise falls die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung **2** bewegt oder beschleunigt wird. Ein Grad der Verschiebung oder der Auslenkung der seismischen Masse kann von einer Federkonstante des Federelements **10** abhängen. Darüber hinaus bilden die seismische Masse und das Elektrodenelement einen Kondensator mit einer Kapazität aus, welche von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse und dem Elektrodenelement abhängt. Daher kann eine Änderung der Kapazität in Bezug auf eine bestimmte Bewegung oder Beschleunigung von der Federkonstante des Federelements **10** abhängen. **Fig. 2a** zeigt eine schematische Veranschaulichung einer Querschnittsansicht der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** aus einer Seitenansicht. Die Querschnittsebene A-A, welche den Querschnitt anzeigt, ist in **Fig. 2b** gezeigt. Entsprechend zeigt **Fig. 2a** die Querschnittsebene B-B, von der **Fig. 2b** abgeleitet ist. Darüber hinaus veranschaulicht Kästchen **28** einen Abschnitt der mikroelektromechanischen Vorrichtung, auf den sich **Fig. 2c** konzentriert.

[0024] **Fig. 2a** zeigt erneut das Halbleitersubstrat **4**. Gemäß dieser Ausführungsform umfasst das Halbleitersubstrat **4** eine Vertiefung **14**, wobei die Stützstruktur **6** innerhalb der Grundfläche oder Abmessungen der Vertiefung **14** fest mit dem Substrat **4** verbunden ist. Dies kann beispielsweise unter Verwendung eines Venezia-Prozesses abgeleitet werden, um eine Vertiefung unterhalb der seismischen Masse **12** auszubilden, und darüber hinaus unter Verwendung von (Tiefgraben-)Ätzen eines Rundum- oder Umfangsgrabens **14'** von (einer Oberseite) des Halbleitersubstrats zur Vertiefung zwischen der seismischen Masse und dem Halbleitersubstrat **4**. Beim Anwenden des Silicon-on-Nothing-Prozesses kann ein Bereich zwischen der seismischen Masse und dem Halbleitersubstrat beim Ätzen übersprungen oder ausgelassen

werden, wodurch die zukünftige Stützstruktur **6** ausgebildet wird. Mit anderen Worten können die Stützstruktur, das Elektrodenelement, das Federelement und die seismische Masse ein Material des Halbleitersubstrats umfassen. Gemäß weiteren Ausführungsformen können die Stützstruktur, das Federelement, die seismische Masse und insbesondere das Elektrodenelement ein weiteres leitendes Material, wie beispielsweise polykristallines Silizium, umfassen.

[0025] Der Silicon-on-Nothing-Prozess kann auch als ein Empty-Space-in-Silicon(ESS)-Prozess bezeichnet werden. Ein ähnlicher oder gleicher Prozess ist der Venetia- oder Venezia-Prozess, welcher (fast) zur gleichen Zeit entwickelt wurde. Beide Prozesse können ähnlich sein, obwohl sie sich in Details unterscheiden können. Jedoch sind der Venezia-Prozess und der Silicon-on-Nothing-Prozess wechselseitig anwendbar. Basierend auf regulären Siliziumwafern können eine Mehrzahl von Gräben ausgebildet oder geöffnet werden. Die Gräben können nach einem epitaxialen Wachstum oxidiert werden. Der Ätzschritt kann selektiv ausgeführt werden oder kann auf alle Oberflächen eines späteren Chips erweitert werden. Oxidierte vergrabene Kanäle und Hohlräume, welche im Inneren des monokristallinen Siliziums erhalten werden können, ermöglichen eine Herstellung von billigen Substraten, beispielsweise Silizium-auf-Isolator(SOI, Silicon on Insulator)-Substraten. Nachdem die Gräben ausgebildet wurden, beispielsweise durch Anwenden von Temperaturen von z. B. mehr als 1000 °C, mehr als 1100 °C oder mehr als 1200 °C, und während des Aufbringens eines Wasserstoffmaterials kann das Siliziummaterial rekombinieren, so dass der Hohlraum innerhalb des Halbleitersubstrats ausgebildet wird. Die Rekombination kann ein epitaxiales Wachstum und/oder eine Dotierung des Materials, welches rekombiniert, umfassen. Ein Teil des Halbleitersubstrats, welches den Hohlraum abdeckt und zwischen dem Hohlraum und der Hauptoberfläche angeordnet ist, kann die Stützstruktur ausbilden.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann ein Bereich innerhalb des Halbleitersubstrats **4**, welcher von den Vertiefungen oder Gräben **14** und **14'** umgeben ist, vollständig geätzt werden, und die weiteren Elemente der mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** können anschließend oder parallel innerhalb der Vertiefung ausgebildet werden, beispielsweise unter Verwendung von (Material-)Abscheidungsschritten, welche typischer Halbleiterverarbeitung entsprechen können.

[0027] Zur Erfüllung einer Forderung, dass ein Stress des Gehäuses oder des Halbleitersubstrats **4** nicht oder nur in geringem Umfang auf die Sensorelemente übertragen werden soll, welche den Kondensator ausbilden, nämlich das Elektrodenelement

und die seismische Masse, soll eine Größe der Stützstruktur vergleichsweise gering sein. Beispielsweise ist ein Volumen der Stützstruktur im Vergleich zu einem Volumen der seismischen Masse **12** wenigstens 30-mal kleiner oder wenigstens 20-mal kleiner oder wenigstens 10-mal kleiner. Zusätzlich oder alternativ ist ein Querschnittsbereich der Stützstruktur an einem Seitenwandteil zwischen der Stützstruktur und dem Halbleitersubstrat im Vergleich zu einem Hauptoberflächenbereich der seismischen Masse wenigstens viermal kleiner. Dies wird weiter unter Bezugnahme auf **Fig. 2b** beschrieben.

[0028] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung **2** ein weiteres Elektrodenelement, welches in der seismischen Masse z. B. unter Verwendung von Dotierung ausgebildet ist. Zusätzlich oder alternativ kann das weitere Elektrodenelement beispielsweise auf der seismischen Masse unter Verwendung von Abscheidung einer Schichtstruktur abgeschieden sein, welche ein elektrisch leitfähiges Material umfasst. Das weitere Elektrodenelement kann einen Plattenkondensator in Verbindung mit dem Elektrodenelement **8** ausbilden. Gemäß den vorherigen Ausführungsformen ohne weitere Elektrodenelemente kann die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung unter Verwendung des Prinzips von kapazitiven Näherungssensoren unter Verwendung eines einzelnen Elektrodenelements arbeiten, um Objekte (oder noch mehr einen Abstand von Objekten) vor dem Elektrodenelement zu detektieren. Darüber hinaus können das Elektrodenelement und/oder das weitere Elektrodenelement elektrisch mit der Stützstruktur verbunden sein, so dass ein Signal, welches eine aktuelle Kapazität des Kondensators oder eine Änderung der aktuellen Kapazität des Kondensators anzeigt, ableitbar ist. Mit anderen Worten können die Elektrodenelemente elektrisch durch die Stützstruktur verbunden sein und ein Sensorsignal kann beispielsweise an eine Verarbeitungseinheit durch die Stützstruktur bereitgestellt sein.

[0029] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst die mikroelektromechanische Vorrichtung **2** ein Dichtelement **26**, welches ausgelegt ist, um die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung **2** hermetisch abzudichten, so dass die Stützstruktur, das Elektrodenelement und die seismische Masse innerhalb der Grundfläche des Substrats des Dichtelements angeordnet sind. Daher können das Halbleitersubstrat **4** und das Dichtelement **26** ein Gehäuse der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung ausbilden. Gemäß Ausführungsformen ist das Befestigungselement **6** mechanisch mit dem Substrat **4** und dem Dichtelement **26** verbunden, um ein Befestigungselement mit erhöhter Stabilität auszubilden. Mit anderen Worten kann das Befestigungselement **6** sowohl mit dem Halbleitersubstrat **4** als auch dem Dichtelement **26** verbunden sein. Diese

Zweipunktverbindung verbessert im Vergleich zu einer Einzelpunktverbindung, wobei die Stützstruktur **6** nur mit dem Halbleitersubstrat **4** verbunden ist, eine Stabilität oder Stärke der Stützstruktur **6**.

[0030] Fig. **2b** zeigt eine schematische Querschnittsansicht der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung aus einer Draufsicht. Der Querschnitt A-A wird in Bezug auf Fig. **2a** gezeigt. Sie ist unterhalb der Abdichtung und der Gegenelektrode angeordnet.

[0031] Fig. **2b** zeigt das Halbleitersubstrat **4** und die seismische Masse **12** durch den Graben **14'** vom Halbleitersubstrat **4** beabstandet. Gemäß Ausführungsformen umfasst die seismische Masse eine Verstärkungsstruktur **20**, welche fest mit der Stützstruktur **6** verbunden ist, ausgelegt, um das Elektrodenelement (nicht in Fig. **2b** gezeigt) zu verstärken, so dass das Elektrodenelement in einer festen Position in Bezug auf das Substrat oder die Stützstruktur angeordnet ist. Mit anderen Worten sollte das Elektrodenelement in Bezug auf die gesamte kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung steif sein, so dass nur die seismische Masse **12** ausgelenkt oder abgeschwenkt wird, falls die gesamte kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung sich bewegt oder beschleunigt wird, so dass ein definiertes (residuales oder differentielles) kapazitives Signal erhalten werden kann. Daher kann die Gegenelektrode oder das Elektrodenelement ein Material mit der gewünschten oder notwendigen Steifigkeit umfassen oder das Elektrodenelement kann unter Verwendung einer Verstärkungsstruktur **20** verstärkt werden, so dass eine Steifigkeit des Elektrodenelements erhöht wird, um die seismische Masse während des Normalbetriebs nicht zu berühren und/oder ein definiertes Sensorsignal zu erhalten.

[0032] Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die Verstärkungsstruktur höher als der Hauptoberflächenbereich der seismischen Masse **18** sein oder darüber erstreckt werden, so dass ein Spalt **24** (nicht gezeigt) zwischen der seismischen Masse **12** und dem Elektrodenelement vorhanden ist. Darüber hinaus zeigt eine weitere Ausführungsform die seismische Masse **12**, welche strukturiert ist, so dass das Residuum der Strukturierung die Verstärkungsstruktur **20** ausbildet. Die Strukturierung kann durch Ätzen oder Ausbilden des Grabens **14''** durchgeführt werden, welcher die Verstärkungsstruktur von der seismischen Masse trennt. Ferner kann die Verstärkungsstruktur ein Abstandselement **22** umfassen, um einen Spalt zwischen dem Elektrodenelement und der seismischen Masse **12** auszubilden, so dass der Kondensator durch das Elektrodenelement und die seismische Masse ausgebildet wird. Mit anderen Worten, falls die seismische Masse und die Verstärkungsstruktur eine gleiche oder nahezu gleiche Höhe umfassen, kann ein Abstandselement aufge-

bracht werden, so dass das Elektrodenelement weiterhin durch die Verstärkungsstruktur verstärkt ist und ferner einen Spalt zwischen dem Elektrodenelement und der seismischen Masse nicht berührt oder umfasst. Darüber hinaus kann das Abstandselement eine dielektrische Isolierung zwischen dem Elektrodenelement und der Verstärkungsstruktur ausbilden, so dass das Abstandselement **22** ausgelegt ist, um Ladungsträger an einer Bewegung vom Elektrodenelement zur Verstärkungsstruktur zu hindern. Ladungsträger, welche sich vom Elektrodenelement zur seismischen Masse bewegen, würden den Kondensator „entladen“ und somit das kapazitive Sensorsignal reduzieren oder sogar auslöschen oder eliminieren.

[0033] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann das Federelement **10** unter Verwendung eines Teils des Grabens **14''** ausgebildet sein, welcher verwendet wird, um die Verstärkungsstruktur und/oder einen weiteren Graben **14'''** auszubilden, so dass die seismische Masse **12** in Bezug auf die Stützstruktur **6** und somit auf (alle der) verbleibenden Teile der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** beweglich oder einsetzbar oder verschiebbar ist.

[0034] Wie bereits durch die entsprechende Fig. **2a** beschrieben, ist es vorteilhaft, im Vergleich zur seismischen Masse eine kleine Stützstruktur **6** zu haben, falls ein Stress oder externe Einwirkungen auf die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung vom Kondensator oder Sensorelementen der mikroelektromechanischen Vorrichtung fern gehalten werden sollen. Deshalb kann es wichtig sein, dass ein Querschnittsbereich **16** der Stützstruktur **6** an einem Seitenwandteil zwischen der Stützstruktur und dem Substrat **4** im Vergleich zu einem Hauptoberflächenbereich **18** der seismischen Masse **12** wenigstens viermal kleiner oder wenigstens zehnmal kleiner oder wenigstens 20-mal kleiner ist. Obgleich der Querschnittsbereich **16** in Fig. **2b** nicht an einem Seitenwandteil zwischen der Stützstruktur und dem Substrat gezeigt ist, kann er die gleiche Größe wie der Seitenwandteil des Halbleitersubstrats **4** umfassen, falls angenommen wird, dass die Stützstruktur **6** ein Quader ist oder nur Kanten mit senkrechter Ausrichtung umfasst.

[0035] Fig. **2c** zeigt einen Abschnitt **28** der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2**. Der Abschnitt **28** wird in Bezug auf Fig. **2a** gezeigt. Der Abschnitt **28** konzentriert sich auf eine Kante des kapazitiven mikroelektromechanischen Sensors, welcher gemäß einer Ausführungsform ausgebildet oder angeordnet ist.

[0036] Auch hier wird gezeigt, dass das Halbleitersubstrat **4** und die seismische Masse **12** durch einen Graben **14'** getrennt sind. Die seismische Masse **12** kann Bulk-Silizium aus einem Silicon-on-Nothing-Prozess sein, wobei, mit anderen Worten, die seismi-

sche Masse eine Silicon-on-Nothing-Struktur ist. Darüber hinaus ist die Gegenelektrode bzw. das Elektrodenelement **8** von der seismischen Masse **12** durch einen Spalt **24** beabstandet. Ferner wird die Abdichtung **26** gezeigt, wobei sie mit einem Spalt **24'** zur Gegenelektrode angeordnet ist und/oder die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung in Verbindung mit dem Halbleitersubstrat **4** hermetisch abdichtet. Mit anderen Worten bilden das Halbleitersubstrat **4** und die Abdichtung **26** ein hermetisch abgedichtetes Gehäuse der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2**. Die Abdichtung **26** ist von der Gegenelektrode **8** durch einen Spalt **24'** beabstandet, welcher eine Größe von einigen 10 Nanometern bis zu einigen Mikrometern, beispielsweise 100 nm, 500 nm, 1 µm oder 3 µm, aufweisen kann. Ein solcher Spalt ist ausreichend, so dass sich die Gegenelektrode und die Abdichtung nicht berühren, da die Gegenelektrode vergleichsweise steif ist, wie bereits erläutert.

[0037] Die vorgeschlagenen Ausführungsformen integrieren eine Beschleunigungsmesserstruktur, eine Beschleunigungssensorstruktur oder eine g-Sensorstruktur in einem Halbleitersubstrat, um eine Beschleunigung z. B. in z-Richtung zu messen, welche zu einem Hauptoberflächenbereich des Halbleitersubstrats oder dem Hauptoberflächenbereich **18** der seismischen Masse senkrecht sein kann. Daher kann eine Silicon-on-Nothing-Technologie verwendet werden. Eine Elektrodenstruktur auf der Oberseite des Substrats kann verwendet werden, um ein kapazitives Messsignal abzuleiten.

[0038] Trotzdem sind das Element, welches empfindlich auf Beschleunigung ist (z. B. die seismische Masse), sowie die Elektrode, um das Messsignal abzuleiten, an einem gemeinsamen Punkt angeordnet oder aufgehängt, umfassend eine Größe von beispielsweise weniger als 10 µm mal 10 µm. Somit sind seismische Elemente mit einer Erweiterung von beispielsweise 100 µm mal 100 µm oder mehr möglich oder erzielbar, ohne eine erhöhte Interaktion mit dem Gehäuse aufzuweisen oder zu generieren. Die Geometrie der Aufhängung oder Stützstruktur ermöglicht ein mehr oder weniger uneingeschränktes Design der Federelemente und der seismischen Masse.

[0039] Eine Hauptverwendung kann beispielsweise die einfache und leichte Integration in einen CMOS-Prozess sein. Auf der anderen Seite zeigen Ausführungsformen eine effektive Entkopplung von einem externen Stress oder weiteren externen Einwirkungen und ermöglichen daher billigere oder preisgünstigere Gehäuse.

[0040] Fig. 3 zeigt eine schematische Veranschaulichung der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** in einer Explosionsansicht und eine Querschnittsansicht unten in Fig. 3 gemäß einer Aus-

führungsform ähnlich der Ausführungsform, welche in Bezug auf Fig. 2a und Fig. 2b gezeigt ist. Jedoch wird die Abdichtung der Einfachheit halber nicht in Fig. 3 gezeigt, da sie auf der einen Seite für die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung optional ist und die Figur überladen würde. Darüber hinaus soll Fig. 3 verwendet werden, um ein paar Größen oder Abmessungen von Merkmalen oder Elementen der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** beispielhaft zu zeigen.

[0041] Daher kann eine Größe der Vertiefung **14** oder eines Spalts zwischen der Unterseite des Halbleitersubstrats **4** und der Unterseite der seismischen Masse **12** oder der Stützstruktur **20** beispielsweise eine Größe **100** eines Spalts zwischen 100 nm und einigen µm sein, beispielsweise 500 nm, typischerweise 1 µm oder 3 µm. Ferner kann eine Kantenlänge **102, 102'** (oder ein Durchmesser, falls die Stützstruktur rund oder oval oder nicht winkelig ist) der Stützstruktur **6** zwischen 1 µm bis mehreren µm sein, wie beispielsweise 5 µm, 10 µm oder 20 µm. Darüber hinaus kann die Stützstruktur **6** quadratisch oder rechteckig sein, wobei sich die Länge der Kante **102** von der Länge der Kante **102'** unterscheiden kann. Darüber hinaus kann die Größe der Stützstruktur durch die Lithographie von beispielsweise dem Silicon-on-Nothing-Ätzprozess definiert sein. Jedoch sind auch andere Formen der Stützstruktur **6** möglich, wie beispielsweise rechteckige, kreisförmige oder ovale Formen. Darüber hinaus sind selbst Trapez- oder Kegelformen der Stützstruktur **6** möglich. Daher kann sich die Größe **200** und **200'** auf eine mittlere, durchschnittliche oder effektive Größe oder einen mittleren, durchschnittlichen oder effektiven Durchmesser der Stützstruktur **6** beziehen.

[0042] Die Feder **10** kann unter Verwendung von Ätzgräben **14'''** und **14''** ausgebildet werden, welche nicht notwendigerweise die Verstärkungsstruktur **20** ausbilden. Eine Länge **104** der Feder kann mehrere 10 µm sein, wie beispielsweise 20 µm, 50 µm oder 100 µm. Eine Breite des Federelements **10**, welche senkrecht zur Länge **104** gemessen werden kann, z. B. eine Differenz zwischen dem Graben **14'''** und dem Graben **14''** (bei der niedrigsten Ausdehnung der Größe oder des Spalts), kann zwischen mehreren 100 nm bis mehreren µm sein, beispielsweise 250 nm, 700 nm oder 5 µm, typischerweise 1 µm. Es ist zu beachten, dass das Design oder die Form des Federelements **10** nur beispielhaft ist und dass beliebige weitere Ausführungsformen unter Verwendung von verschiedenen Formen von Federelementen ausgedacht werden können, welche ermöglichen, dass sich die seismische Masse in Bezug auf das Elektrodenelement **8** bewegt.

[0043] Die Verstärkungsstruktur **20** kann eine Größe **105, 105'** von mehreren µm bis mehreren zehn µm aufweisen, beispielsweise 5 µm, 15 µm oder 50 µm.

Jedoch können, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 3** gezeigt, die Größen **105** und **105'** unterschiedlich sein, obgleich die Größen **105** und **105'** gemäß weiteren Ausführungsformen (mehr oder weniger) gleich sein können, so dass die Verstärkungsstruktur **20** ein Quadrat ausbildet.

[0044] Darüber hinaus kann die seismische Masse eine Größe **108** zwischen mehreren 10 µm bis mehreren 100 µm umfassen, beispielsweise 50 µm, 150 µm oder 250 µm. Auch hier können die Größen **106** und **106'** verschieden oder gleich sein, so dass die seismische Masse rechteckig, quadratisch, oval oder kreisförmig ist.

[0045] Gemäß Ausführungsformen kann eine Gesamtgröße **108**, **108'** der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung **2** zwischen 50 µm bis mehreren 100 µm sein, wie beispielsweise 75 µm, 200 µm oder 400 µm.

[0046] **Fig. 4a-g** zeigen eine kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung nach (relevanten) Schritten eines Fertigungsprozesses der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung. Auf der linken Seite von jeder der **Fig. 4a-g** ist eine Querschnittsansicht der mikroelektromechanischen Zwischenvorrichtung an einer Querschnittsebene gezeigt, welche durch eine gestrichelte Linie **30** angezeigt ist. Auf der rechten Seite von jeder der **Fig. 4a-g** ist eine Draufsicht mit teilweise halbtransparenten Oberflächen gezeigt.

[0047] **Fig. 4a** zeigt ein Ebenenblock oder Wafer des Halbleitersubstrats, beispielsweise umfassend Silizium. Bisher wurden keine strukturellen Verarbeitungsschritte durchgeführt, obgleich das Halbleitersubstrat bereits eine (Auswertungs-)Schaltung umfassen kann.

[0048] **Fig. 4b** zeigt die kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung nach Ausbilden eines Hohlraums oder der Vertiefung **14**, beispielsweise unter Verwendung einer Silicon-on-Nothing-Verarbeitung oder eines Venezia-Prozesses. Der (verbleibende) Pfeiler in der Mitte der Vertiefung **14** auf der linken Seite von **Fig. 4b** bildet die spätere Stützstelle oder Stützstruktur **6** der kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung aus. Auf der rechten Seite von **Fig. 4** sind der Hohlraum oder die Vertiefung **14** und die zukünftige Stützstruktur **6** zur Verdeutlichung angezeigt, obgleich sie von oben nicht identifizierbar sind. Daher kann die Oberfläche des Halbleitersubstrats halbtransparent gezeigt sein.

[0049] **Fig. 4c** zeigt die kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung nach Strukturieren der seismischen Masse **12**, des Feder(elements) **10** und der Verstärkungsstruktur **20**, welche eine zentrierte steife Stütze sein kann. Die seismische Mas-

se wird unter Verwendung von beispielsweise Tiefgrabenätzen des Grabens **14'** ausgebildet, wobei die Verstärkungsstruktur **20** unter Verwendung von beispielsweise (Tiefgraben-)Ätzen des Grabens **14''** strukturiert werden kann. Die Feder **10** kann beispielsweise durch einen Teil des Grabens **14''** oder durch einen separaten Graben, beispielsweise senkrecht zur Feder **10** zugewiesen, ausgebildet werden. Ein zweiter Teil der Feder **10** kann unter Verwendung des Grabens **14'''** ausgebildet werden oder, falls die Stützstruktur an eine Kante der seismischen Masse bewegt wird, durch den Graben **14'** und den Teil, welcher parallel zum Graben **14'** des Grabens **14''** ist.

[0050] **Fig. 4d** und **Fig. 4e** zeigen die kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung nach Ausbilden der Strukturen oder Schichten oberhalb des Halbleitersubstrats **4**. Man beachte, dass **Fig. 4d** und **Fig. 4e** die kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung in der gleichen Verarbeitungsstufe zeigen, wobei sich nur die Position der Querschnittsebene **30** unterscheidet, wo die kapazitive mikroelektromechanische Zwischenvorrichtung geschnitten ist, um die Seitenansicht des Querschnitts auf der linken Seite von **Fig. 4d** und **Fig. 4e** zu veranschaulichen.

[0051] Das Ausbilden der Strukturen oberhalb des Halbleitersubstrats kann die folgenden Verarbeitungsschritte umfassen. Es kann eine Opferschicht **32'** oberhalb des Halbleitersubstrats mit einer Größe senkrecht zur Hauptoberfläche **18** der seismischen Masse abgeschieden werden, umfassend eine Größe oder eine Höhe des Spalts **24** zwischen dem Elektrodenelement **8** und der seismischen Masse **12**. Die Opferschicht **32** kann Kohlenstoff oder ein weiteres geeignetes Material für eine Opferschicht umfassen. Die Opferschicht **32** kann im Zentrum und am Rand der Opferschicht strukturiert werden. Im strukturierten Zentrum der Opferschicht **32'** kann das Abstandselement **22** abgeschieden werden. Das Abstandselement **22** kann ein Siliziumoxid umfassen, beispielsweise Siliziumdioxid oder ein weiteres isolierendes Material, welches eine dielektrische Isolierung zwischen dem Elektrodenelement **8** und der Verstärkungsstruktur **20** ausbilden kann. Ferner kann das Elektrodenelement **8** auf oder oberhalb des Abstandselements **22** und der Opferschicht **32'** abgeschieden werden. Das Elektrodenelement **8** kann strukturiert sein, so dass es den Oberflächenbereich **18** der seismischen Masse zu einem großen Teil oder sogar vollständig bedeckt. Darüber hinaus kann das Elektrodenelement **8** ein leitendes Material umfassen, wie beispielsweise polykristallines Silizium. Ferner kann eine zweite Opferschicht **32''** oder ein weiterer Teil der Opferschicht oberhalb der Opferschicht **32'** und des Elektrodenelements **8** abgeschieden werden. Die weitere Opferschicht (sowie die Opferschicht **32'**) kann an einer Begrenzung der Opferschicht strukturiert sein. Im strukturierten Bereich an

den Begrenzungen der Opferschichten **32'** und **32''**, welche nun eine gemeinsame Opferschicht **32** ausbilden können, und/oder oberhalb der gemeinsamen Opferschicht **32** wird das Dichtelement **26** abgeschieden. Das Dichtelement **26**, beispielsweise eine Deckschicht, kann das gleiche Material wie das Abstandselement **22** umfassen, wie beispielsweise Siliziumdioxid.

[0052] Fig. **4f** und Fig. **4g** zeigen die (endgültige) kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung **2**. Auch hier, wie bereits unter Bezugnahme auf Fig. **4d** und Fig. **4e** gesehen, zeigen Fig. **4f** und Fig. **4g** die gleiche Vorrichtung in unterschiedlichen Querschnittsebenen **30**. Um die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung aus den vorhergehenden Fig. **4d** und Fig. **4e** abzuleiten, sollte die Opferschicht **32** entfernt werden. Zum Entfernen der Opferschicht **32** können ein oder mehrere Löcher im Dichtelement **26** angebracht werden, um den Entfernungsprozess auf die Opferschicht anzuwenden. Die Opferschicht kann beispielsweise unter Verwendung eines Trockenveraschungsprozesses entfernt werden, wie beispielsweise (Sauerstoff-)Plasmaveraschung oder ein weiterer Entfernungsprozess, welcher geeignet ist, um die gewählte Opferschicht **32** zu entfernen. Ferner müssen das eine oder die mehreren Löcher geschlossen werden, um die (endgültige) kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung abzuleiten, welche unter Bezugnahme auf Fig. **4f** und Fig. **4g** gezeigt wird.

[0053] Fig. **5** zeigt die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform mit einer anderen Struktur der Stützstruktur **6** und des Federelements **10**. Gemäß dieser Ausführungsform ist die Stützstruktur **6** an einem Seitenwandteil des Halbleitersubstrats **4** angeordnet. Ferner wird die Feder **10** unter Verwendung der Gräben **14'** und **14''** ausgebildet. Das Ausbilden eines Grabens **14'''** ist nicht notwendig, da der Graben **14''** nahe der Begrenzung der seismischen Masse **12** endet. Im Vergleich zu den vorherigen Ausführungsformen befindet sich die Stützstruktur **6** nicht am unteren Bereichsteil des Halbleitersubstrats **4**.

[0054] Fig. **6a**-Fig. **6c** zeigen die relevanten Strukturierungsprozesse, von denen jeder selbst getestet und verfügbar ist. Fig. **6a** zeigt eine schematische Veranschaulichung einer Rasterelektronenmikroskopmessung einer Silicon-on-Nothing-Struktur, wie beispielsweise die seismische Masse **12** an einer zentralen Stelle auf dem Substrat **4** befestigt oder angebracht, beispielsweise der Stützstruktur **6**. Elektroden- und Dichtstrukturen mit Zwischenhohlräumen können unter Verwendung eines (getesteten) Kohlenstoffopferschichtprozesses geschaffen werden. Fig. **6b** und Fig. **6c** veranschaulichen schematisch Strukturen unter Verwendung eines solchen Kohlenstoffopferschichtprozesses. Da-

her zeigt Fig. **6b** einen fokussierten Ionenstrahl, welcher durch die Hohlraumstruktur geschnitten ist, wobei Fig. **6c** eine Nahaufnahme einer Hohlraumstruktur zeigt, welche unter Verwendung des Kohlenstoffopferschichtprozesses ausgebildet ist. Werte in Fig. **6a** und Fig. **6c** dienen lediglich zu veranschaulichenden Zwecken und schränken den Schutzbereich der Ausführungsformen nicht ein.

[0055] Die Landepunkte oder Haltepunkte der Elektrode auf der mechanisch steifen Verstärkungsstruktur können unter Verwendung eines Lithographieprozesses leicht während der Strukturierung der Kohlenstoffopferschicht definiert werden. Diese Technik kann auch verwendet werden, um eine „Tischstruktur“ für Drucksensoren auszubilden.

[0056] Die Verstärkungsstruktur des Elektrodenelements kann ferner eine Vielzahl von Formen umfassen. Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann das Elektrodenelement eine Fischgrätenstruktur aufweisen, wobei Arme (beispielsweise senkrecht) mit der Verstärkungsstruktur verbunden sind. Die Stützstruktur kann nur einen punktuellen Fixpunkt am Substrat und optional am Dichtelement umfassen. Die elektrische Verbindung kann ferner unter Verwendung der Stützstruktur aufgebracht werden.

[0057] Gemäß Ausführungsformen ist die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung ein Torsionsvibrator oder Torsionsschwinger. Der Torsionsvibrator kann eine Einzelpunktaufhängung verwenden. Ferner kann die seismische Masse eine flexibel montierte oder elastisch aufgehängte inerte Masse sein.

[0058] Fig. **7** zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Verfahrens **700** zum Ausbilden einer kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung. Das Verfahren **700** umfasst einen Schritt **705** des Bereitstellens eines Halbleitersubstrats, einen Schritt **710** des Ausbildens einer Stützstruktur, welche fest mit dem Substrat verbunden ist, einen Schritt **720** des Ausbildens eines Federelements, einen Schritt **725** des Verbindens einer seismischen Masse über das Federelement mit der Stützstruktur, so dass die seismische Masse in Bezug auf das Elektrodenelement verschiebbar ist, einen Schritt **727** des Abscheidens eines Elektrodenelements, welches fest mit der Stützstruktur verbunden ist, und einen Schritt **730** des Ausbildens eines Kondensators mit einer Kapazität zwischen der seismischen Masse und dem Elektrodenelement, wobei die Kapazität des Kondensators von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse und dem Elektrodenelement abhängt.

[0059] Die Schritte **710** und **725** können unter Verwendung von Ätzen einer Vertiefung in das Halbleitersubstrat durchgeführt werden, so dass die Stützstruktur und die seismische Masse innerhalb einer Grundfläche der Vertiefung ausgebildet werden, in-

dem das Ätzen der Stützstruktur und der seismischen Masse ausgelassen wird. Daher kann ein Silicon-on-Nothing- oder Venezia-Prozess verwendet werden, um die Vertiefung in das Halbleitersubstrat zu ätzen.

[0060] Um den Schritt **730** durchzuführen, kann eine strukturierte Opferschicht auf der seismischen Masse abgeschieden werden, z. B. zum Ausbilden eines (zukünftigen) Spalts zwischen dem Elektrodenelement und der seismischen Masse. Daher kann das Elektrodenelement auf der strukturierten Opferschicht abgeschieden werden. Die strukturierte Opferschicht kann als eine strukturierte Schicht abgeschieden werden oder kann nach einer planaren Abscheidung strukturiert werden.

[0061] Fig. 8 veranschaulicht ein schematisches Blockschaltbild des Verfahrens **700**, welches weitere optionale Verarbeitungsschritte zeigt, die nach dem Durchführen des Schritts **730** angewendet werden können. Gemäß einer Ausführungsform wird eine weitere strukturierte Opferschicht auf dem Elektrodenelement oder der strukturierten Opferschicht in einem optionalen Schritt **735** abgeschieden. In einem weiteren optionalen Schritt **740** kann ein Dichtelement auf der weiteren strukturierten Opferschicht abgeschieden werden, um eine abgedichtete kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung auszubilden. In einem optionalen Schritt **745** kann die Opferschicht oder die weitere Opferschicht durch eine Öffnung im Dichtelement entfernt werden. Daher kann eine Öffnung im Dichtelement zum Anwenden eines Entfernungsprozesses durch das Loch ausgebildet werden, um die Opferschicht zu entfernen. Darüber hinaus wird die Öffnung im Dichtelement in einem weiteren optionalen Schritt **750** geschlossen.

[0062] Gemäß weiteren Ausführungsformen werden Technologieknoten von 130 nm und darunter verwendet, um die mikroelektromechanische Vorrichtung auszubilden. Für Technologien, welche 130-nm-Prozesstechnologien und darunter verwenden, ist beispielsweise die Erwägung einer Topologie der Frontend-of-Line-Strukturen wichtig. Sie überschreiten eine Gesamtdicke von einigen hundert Nanometern nicht, um einen typischerweise verwendeten BPSG(Bor-Phosphat-Silikat-Glas)-Polierschritt nicht zu beeinflussen. Daher wird die mikroelektromechanische Vorrichtung, wie beispielsweise ein Beschleunigungsmesser, nicht mit einer Montagetechnik unter Verwendung einer dicken polykristallinen Schicht ausgebildet.

[0063] Darüber hinaus wird die mikroelektromechanische Vorrichtung, wie beispielsweise ein kapazitiver Sensor, Kondensatorelemente, nicht wesentlichem oder signifikantem Stress ausgesetzt, unabhängig von der Art des Gehäuses. Daher ist ein spezielles Gehäuse nicht notwendig oder erforderlich, was

zu einer erheblichen Kostenkomponente des totalen oder gesamten Systems beitragen würde.

[0064] Diskrete Beschleunigungsmesserstrukturen oder Beschleunigungssensorstrukturen, welche auf einer polykristallinen Siliziumlamelle arbeiten, können auf dem Substrat oder im Substrat geschaffen werden. Hierin werden Schichten, welche eine typische Dicke von etwa 5 µm bis 10 µm umfassen, nicht verwendet. Daher bilden sie keine Basis einer diskreten Komponente oder strukturellen Grenze, um eine Integration in CMOS-Prozesse zu ermöglichen.

[0065] Obwohl einige Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, ist es klar, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens repräsentieren, wobei ein Block oder eine Vorrichtung einem Verfahrensschritt oder einem Merkmal eines Verfahrensschritts entspricht. In analoger Weise repräsentieren im Zusammenhang mit einem Verfahrensschritt beschriebene Aspekte ebenfalls eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Elements oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch eine (oder unter Verwendung einer) Hardwarevorrichtung ausgeführt werden, wie beispielsweise einen Mikroprozessor, einen programmierbaren Computer oder eine elektronische Schaltung. In einigen Ausführungsformen können ein oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch eine solche Vorrichtung ausgeführt werden.

[0066] Die oben beschriebenen Ausführungsformen veranschaulichen lediglich die Prinzipien der vorliegenden Erfindung. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Auslegungen und Details für andere Fachleute auf diesem Gebiet offensichtlich sein werden. Es ist daher die Absicht, nur durch den Schutzbereich der bevorstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Details, welche hierin mittels Beschreibung und Erklärung der Ausführungsformen präsentiert werden, eingeschränkt zu sein.

Patentansprüche

1. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2), umfassend:
ein Halbleitersubstrat (4) mit einer Vertiefung (14);
eine pfostenförmige Stützstruktur (6) innerhalb der Grundfläche der Vertiefung (14), wobei die Stützstruktur (6) fest mit dem Halbleitersubstrat (4) verbunden ist;
ein Elektrodenelement (8), welches fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist;
ein Federelement (10);
eine seismische Masse (12) innerhalb der Vertiefung (14), wobei die seismische Masse (12) über das Federelement (10) mit der Stützstruktur (6) verbunden

ist, so dass die seismische Masse (12) in Bezug auf das Elektrodenelement (8) verschiebbar ist; wobei die seismische Masse (12) und das Elektrodenelement (8) einen Kondensator mit einer Kapazität ausbilden, welche von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse (12) und dem Elektrodenelement (8) abhängt; und wobei die seismische Masse (12) zwischen dem Elektrodenelement (8) und einer Unterseite des Halbleitersubstrats (4) angeordnet ist.

2. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach Anspruch 1, wobei die Stützstruktur (6), das Elektrodenelement (8), das Federelement (10) und die seismische Masse (12) ein Material des Halbleitersubstrats (4) oder ein weiteres leitendes Material umfassen.

3. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Volumen der Stützstruktur (6) im Vergleich zu einem Volumen der seismischen Masse (12) wenigstens 10-mal kleiner ist.

4. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Querschnittsbereich der Stützstruktur (6) an einem Seitenwandteil zwischen der Stützstruktur (6) und dem Substrat (4) im Vergleich zu einem Hauptoberflächenbereich (18) der seismischen Masse wenigstens 4-mal kleiner ist.

5. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend: eine Verstärkungsstruktur (20), welche fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist, ausgelegt, um das Elektrodenelement (8) zu verstärken, so dass das Elektrodenelement (8) in einer festen Position in Bezug auf das Substrat (4) oder die Stützstruktur (6) angeordnet ist.

6. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach Anspruch 5, wobei die seismische Masse (12) und die Verstärkungsstruktur (20) aus dem Halbleitersubstrat (4) strukturiert sind, wobei die Verstärkungsstruktur (20) ein Abstandselement (22) umfasst, um einen Spalt (24) zwischen dem Elektrodenelement (8) und der seismischen Masse (12) auszubilden, so dass der Kondensator durch das Elektrodenelement (8) und die seismische Masse (12) ausgebildet wird.

7. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach Anspruch 6, wobei das Abstandselement (22) ausgelegt ist, um eine dielektrische Isolierung zwischen dem Elektrodenelement (8) und der Verstärkungsstruktur (20) auszubilden, so dass das Abstandselement (22) ausgelegt ist, um zu verhinder-

dem, dass sich Ladungsträger vom Elektrodenelement (8) zur Verstärkungsstruktur (20) bewegen.

8. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein weiteres Elektrodenelement in der seismischen Masse (12) unter Verwendung von Dotierung oder auf der seismischen Masse (12) unter Verwendung von Abscheidung einer Schichtstruktur, welche ein elektrisch leitfähiges Material umfasst, ausgebildet wird.

9. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Elektrodenelement (8) oder ein weiteres Elektrodenelement elektrisch mit der Stützstruktur (6) verbunden ist, so dass ein Signal, welches eine aktuelle Kapazität des Kondensators oder eine Ladung der aktuellen Kapazität des Kondensators anzeigt, ableitbar ist.

10. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend:

ein Dichtelement (26), welches ausgelegt ist, um die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) hermetisch abzudichten, so dass die Stützstruktur (6), das Elektrodenelement (8) und die seismische Masse (12) innerhalb der Grundfläche des Substrats (4) und des Dichtelements (26) angeordnet sind.

11. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei die Stützstruktur (6) mechanisch mit dem Substrat (4) und dem Dichtelement (26) verbunden ist, um eine Stützstruktur (6) mit erhöhter Stabilität auszubilden.

12. Verfahren (700) zum Ausbilden einer kapazitiven mikroelektromechanischen Vorrichtung (2), das Verfahren (700) umfassend:

Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (4), wobei das Halbleitersubstrat (4) eine Vertiefung (14) umfasst; Ausbilden einer Stützstruktur (6) innerhalb der Grundfläche der Vertiefung (14), wobei die Stützstruktur fest mit dem Substrat (4) verbunden ist; Abscheiden eines Elektrodenelements (8), welches fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist; Ausbilden eines Federelements (10); Verbinden einer seismischen Masse (12), die innerhalb der Vertiefung (14) angeordnet ist, über das Federelement (10) mit der Stützstruktur (6), so dass die seismische Masse in Bezug auf das Elektrodenelement verschiebbar ist, wobei die seismische Masse (12) zwischen dem Elektrodenelement (8) und einer Unterseite des Halbleitersubstrats (4) angeordnet ist; Ausbilden eines Kondensators mit einer Kapazität zwischen der seismischen Masse (12) und dem Elektrodenelement (8), wobei die Kapazität des Kondensators von einer Verschiebung zwischen der seismi-

schen Masse (12) und dem Elektrodenelement (8) abhängt.

13. Verfahren (700) nach Anspruch 12, das Verfahren ferner umfassend:

Ätzen einer Vertiefung (14) in das Halbleitersubstrat (4), so dass die Stützstruktur (6) und die seismische Masse (12) innerhalb einer Grundfläche der Vertiefung (14) ausgebildet werden, indem das Ätzen der Stützstruktur (6) und der seismischen Masse (12) ausgelassen wird.

14. Verfahren (700) nach Anspruch 13, das Verfahren ferner umfassend:

Verwenden eines Silizium-auf-Nichts-Prozesses oder eines Venezia-Prozesses, um die Vertiefung (14) in das Halbleitersubstrat zu ätzen.

15. Verfahren (700) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, das Verfahren umfassend:

Abscheiden einer strukturierten Opferschicht (32') auf der seismischen Masse (12);

Abscheiden des Elektrodenelements (8) auf der strukturierten Opferschicht (32').

16. Verfahren (700) nach Anspruch 15, das Verfahren umfassend:

Abscheiden einer weiteren strukturierten Opferschicht (32'') auf dem Elektrodenelement (8) oder der strukturierten Opferschicht (32');

Abscheiden eines Dichtelements (26) auf der weiteren strukturierten Opferschicht (32''), um eine abgedichtete kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung auszubilden;

Entfernen der Opferschicht (32') oder der weiteren Opferschicht (32'') durch eine Öffnung im Dichtelement (26);

Schließen der Öffnung im Dichtelement (26).

17. Verfahren nach Anspruch 16, das Verfahren ferner umfassend einen Schritt des Ausbildens einer Öffnung im Dichtelement (26) zum Anwenden eines Entfernungsprozesses durch das Loch, um die Opferschicht (32) zu entfernen.

18. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2), umfassend:

ein Halbleitersubstrat (4);

eine Stützstruktur (6), welche fest mit dem Halbleitersubstrat (4) verbunden ist;

ein Elektrodenelement (8), welches fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist;

ein Federelement (10);

eine seismische Masse (12), welche über das Federelement (10) mit der Stützstruktur (6) verbunden ist, so dass die seismische Masse (12) in Bezug auf das Elektrodenelement (8) verschiebbar ist;

eine Verstärkungsstruktur (20), welche fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist, ausgelegt, um das Elektrodenelement (8) zu verstärken, so dass das

Elektrodenelement in einer festen Position in Bezug auf das Substrat (4) oder die Stützstruktur (6) angeordnet ist;

wobei die seismische Masse (12) und das Elektrodenelement (8) einen Kondensator mit einer Kapazität ausbilden, welche von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse (12) und dem Elektrodenelement (8) abhängt;

wobei die Verstärkungsstruktur (20) ein Abstandselement (22) umfasst, um einen Spalt (24) zwischen dem Elektrodenelement (8) und der seismischen Masse (12) auszubilden, so dass der Kondensator durch das Elektrodenelement (8) und die seismische Masse (12) ausgebildet wird; und

wobei das Abstandselement (22) ausgelegt ist, um eine dielektrische Isolierung zwischen dem Elektrodenelement (8) und der Verstärkungsstruktur (20) auszubilden, so dass das Abstandselement (22) ausgelegt ist, um zu verhindern, dass sich Ladungsträger vom Elektrodenelement (8) zur Verstärkungsstruktur (20) bewegen.

19. Kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2), umfassend:

ein Halbleitersubstrat (4);

eine Stützstruktur (6), welche fest mit dem Halbleitersubstrat (4) verbunden ist;

ein Elektrodenelement (8), welches fest mit der Stützstruktur (6) verbunden ist;

ein Federelement (10);

eine seismische Masse (12), welche über das Federelement (10) mit der Stützstruktur (6) verbunden ist, so dass die seismische Masse (12) in Bezug auf das Elektrodenelement (8) verschiebbar ist; und

ein Dichtelement (26), welches ausgelegt ist, um die kapazitive mikroelektromechanische Vorrichtung (2) hermetisch abzudichten, so dass die Stützstruktur (6), das Elektrodenelement (8) und die seismische Masse (12) innerhalb der Grundfläche des Substrats (4) und des Dichtelements (26) angeordnet sind

wobei die seismische Masse (12) und das Elektrodenelement (8) einen Kondensator mit einer Kapazität ausbilden, welche von einer Verschiebung zwischen der seismischen Masse (12) und dem Elektrodenelement (8) abhängt;

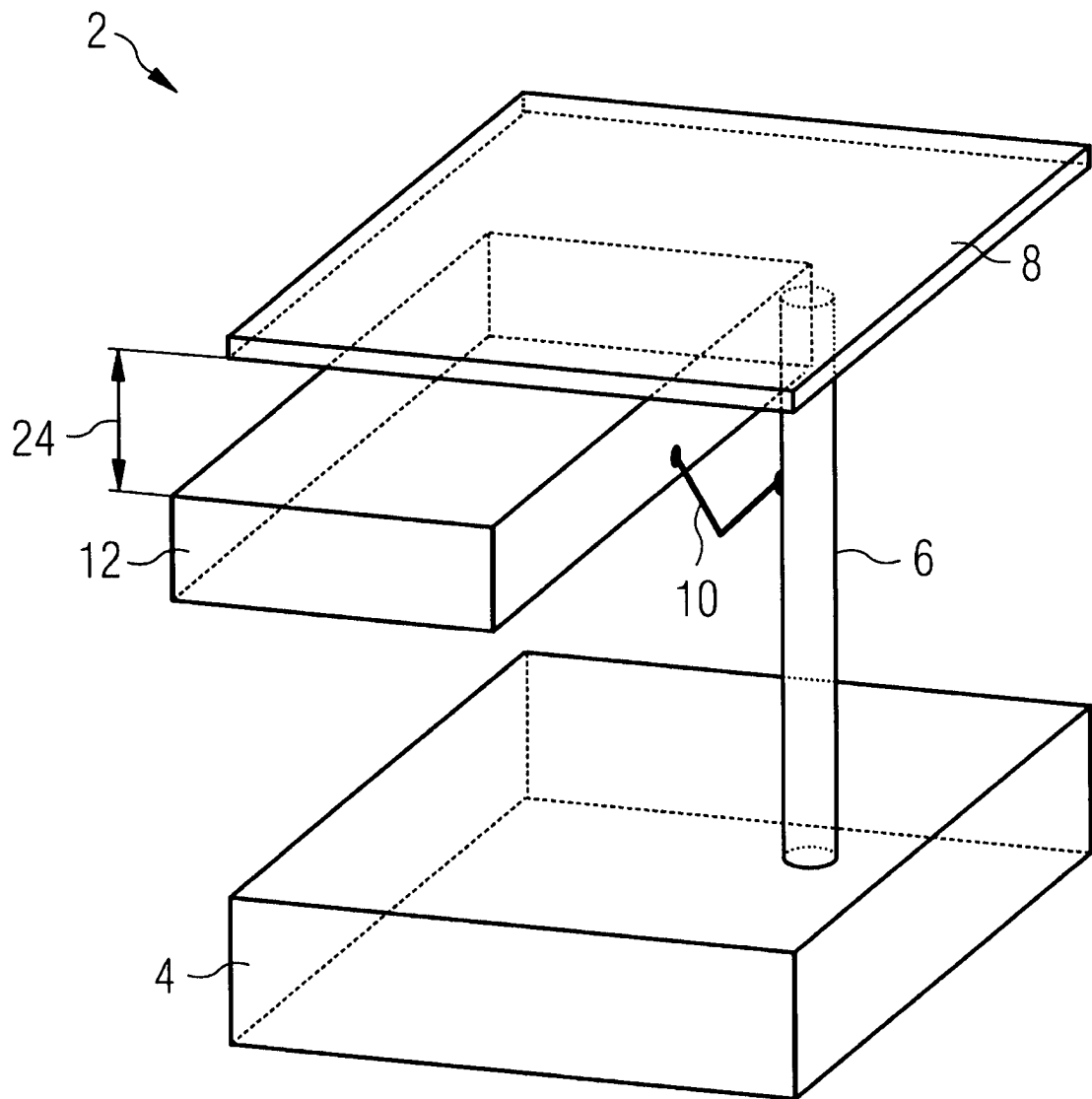
wobei das Halbleitersubstrat (4) eine Vertiefung (14) umfasst, wobei die Stützstruktur (6) innerhalb der Grundfläche der Vertiefung (14) fest mit dem Substrat (4) verbunden ist; und

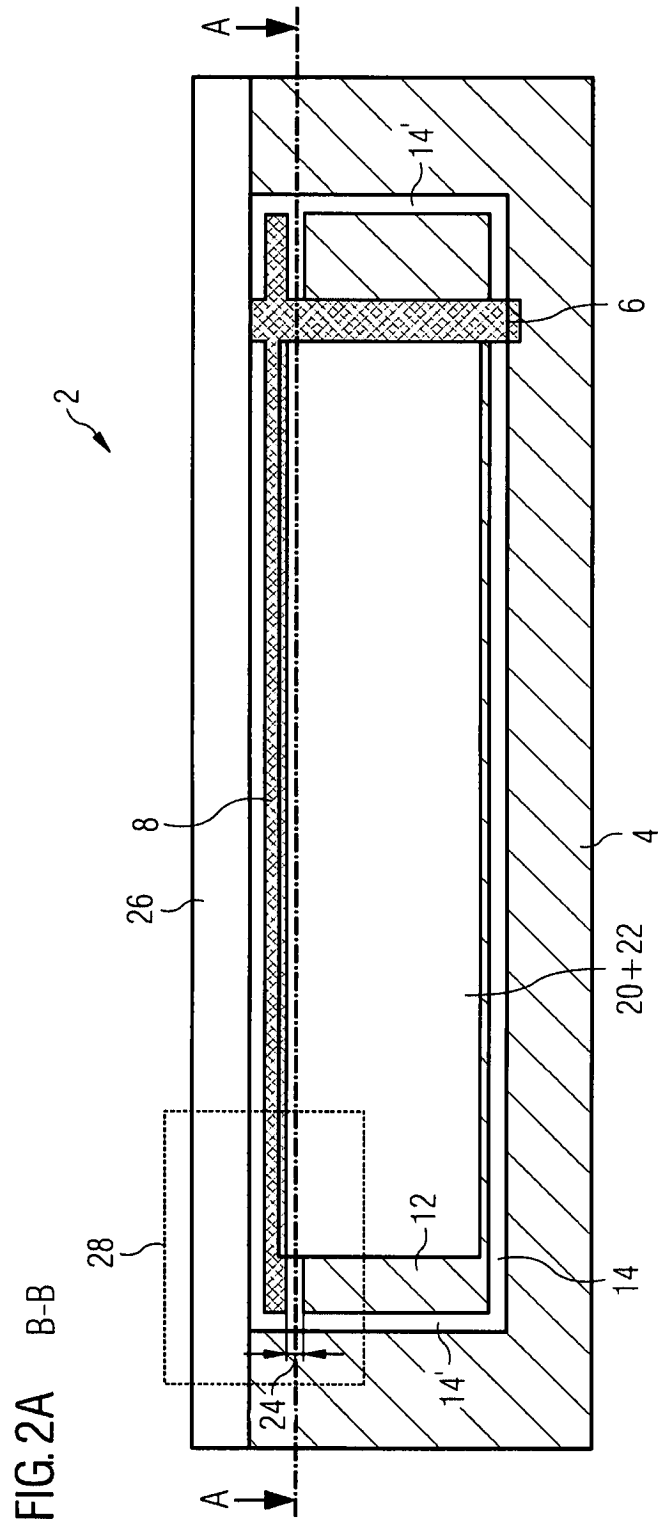
wobei die Stützstruktur (6) mechanisch mit dem Substrat (4) und dem Dichtelement (26) verbunden ist, um eine Stützstruktur (6) mit erhöhter Stabilität auszubilden.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1





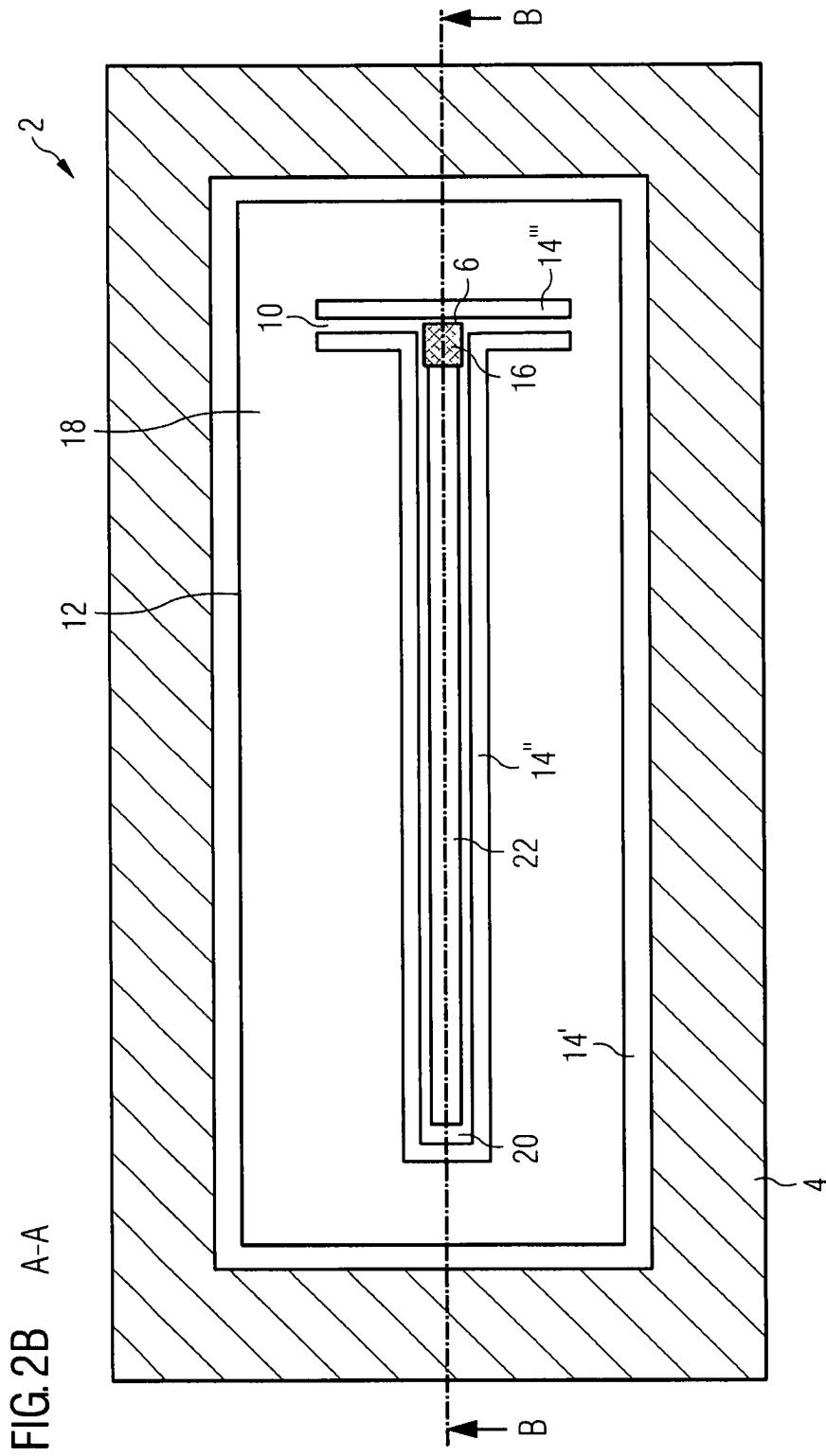


FIG. 2C

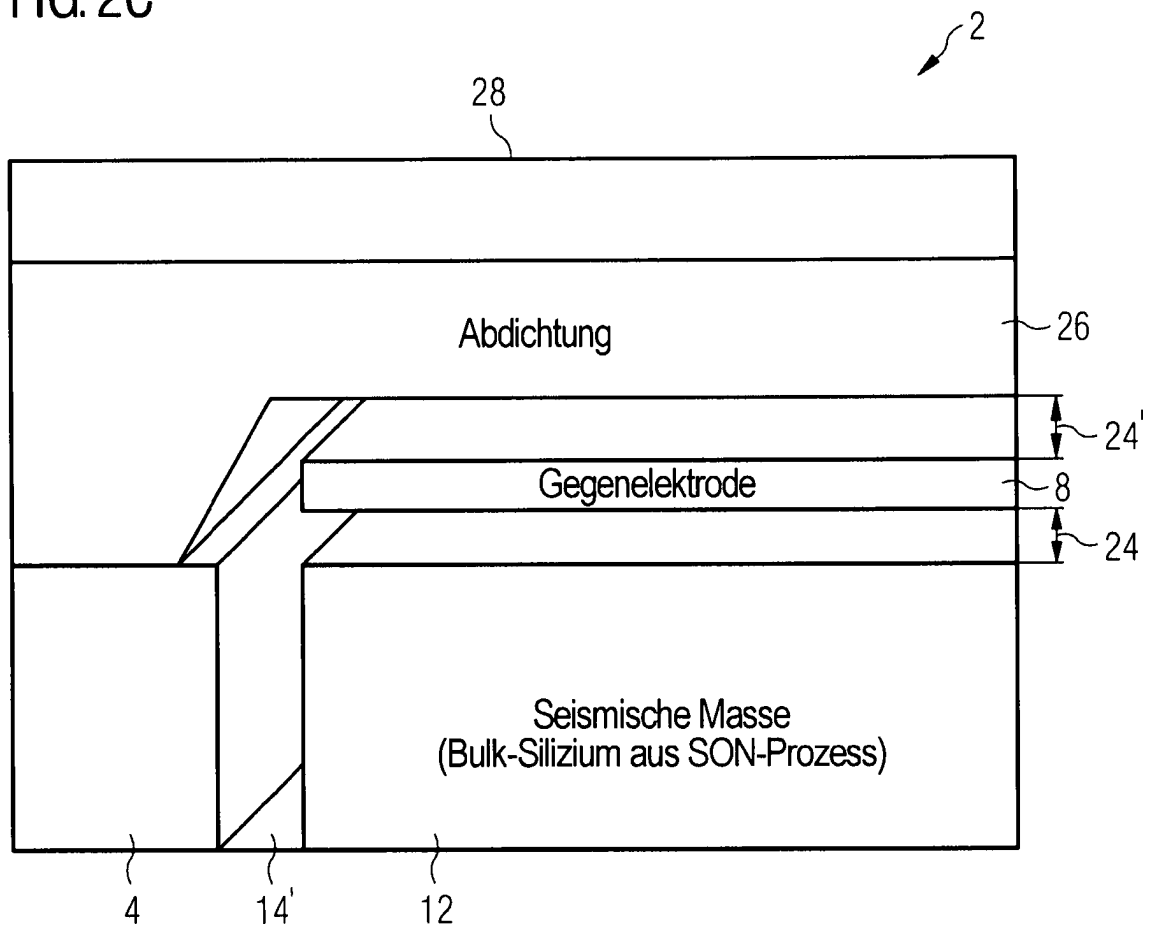


FIG. 3

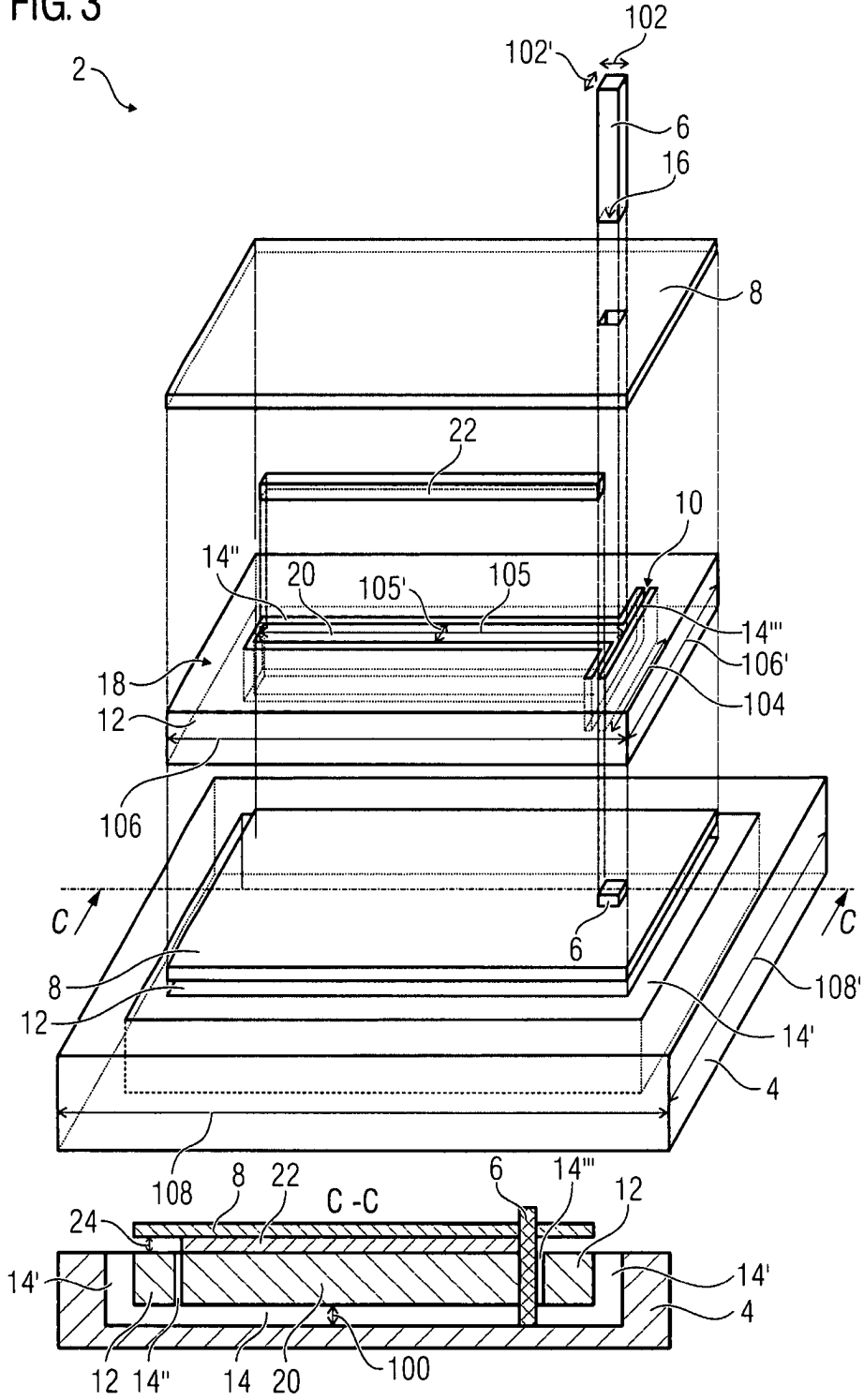
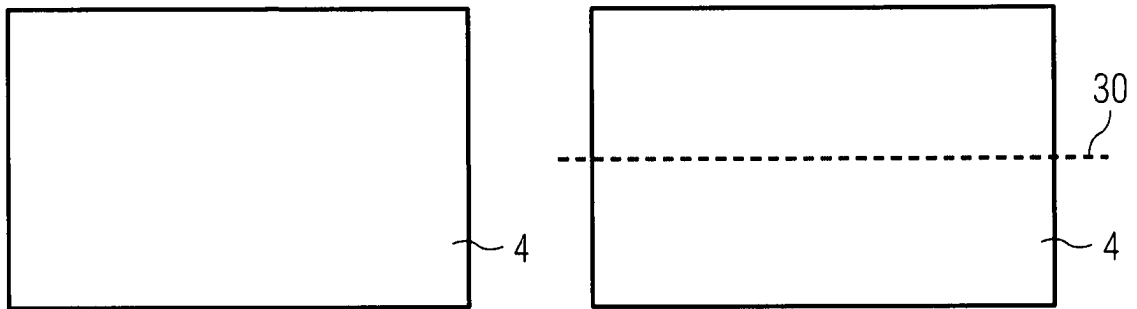
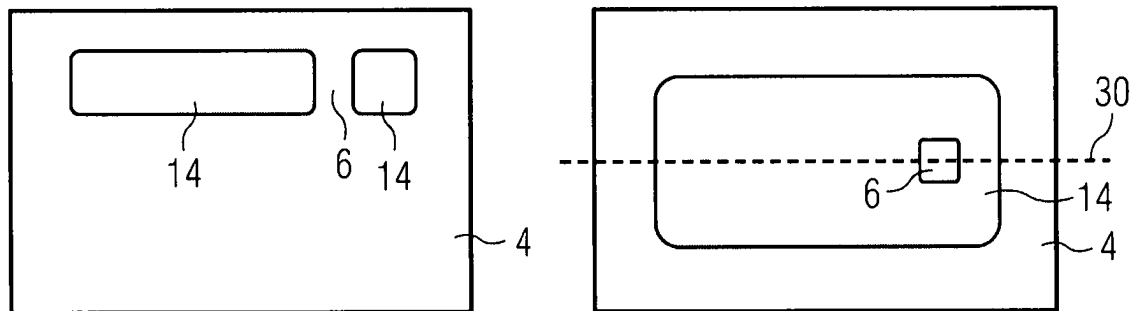


FIG. 4

a)



b)



c)

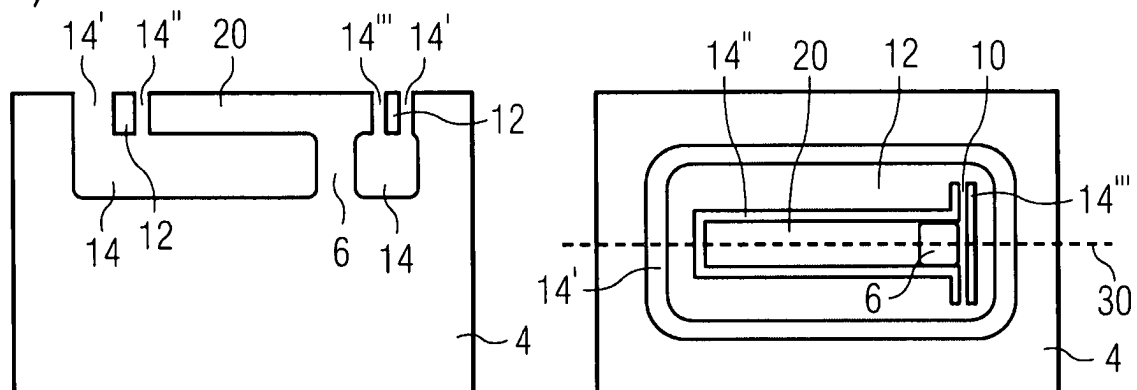


FIG. 4

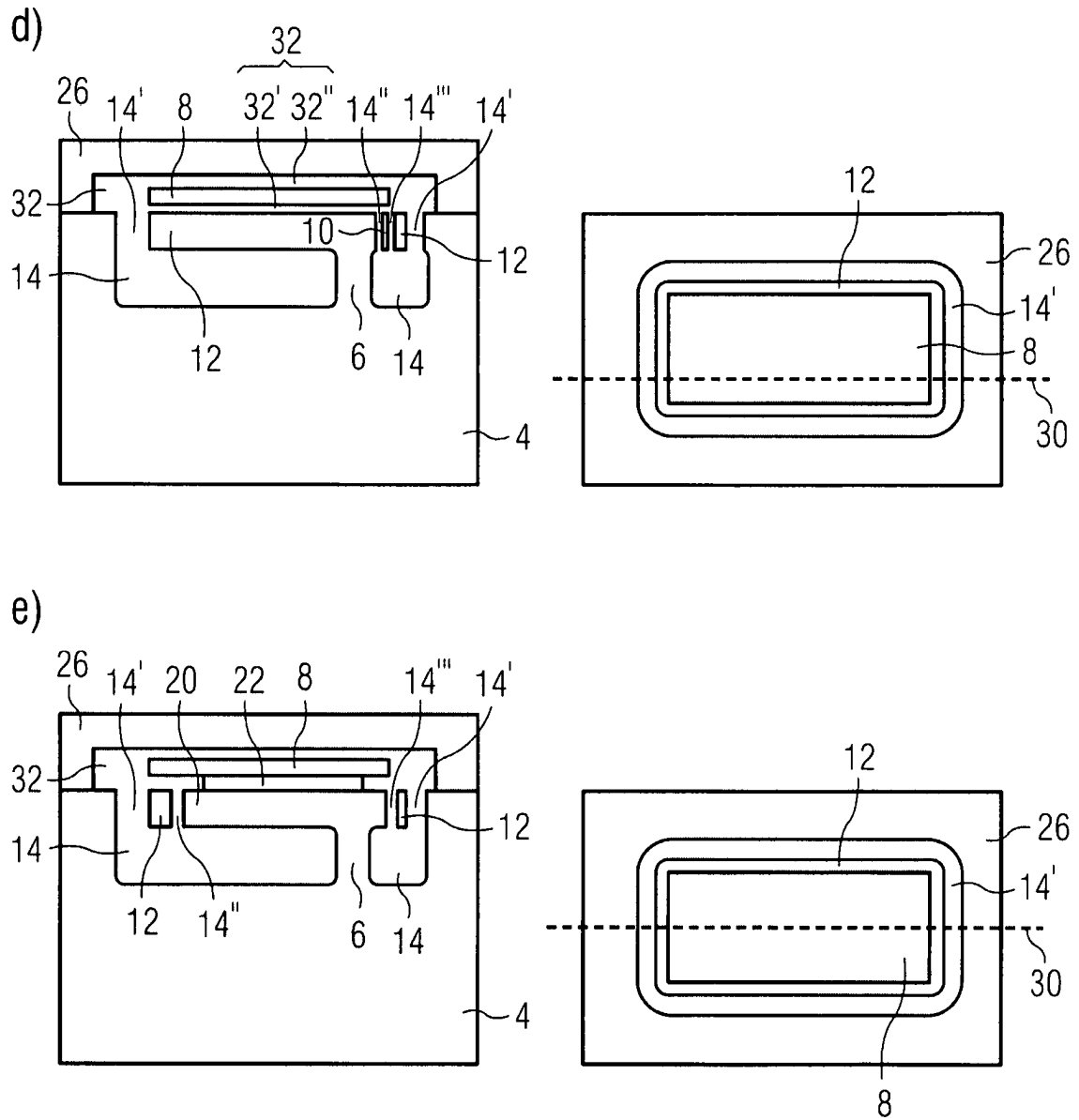
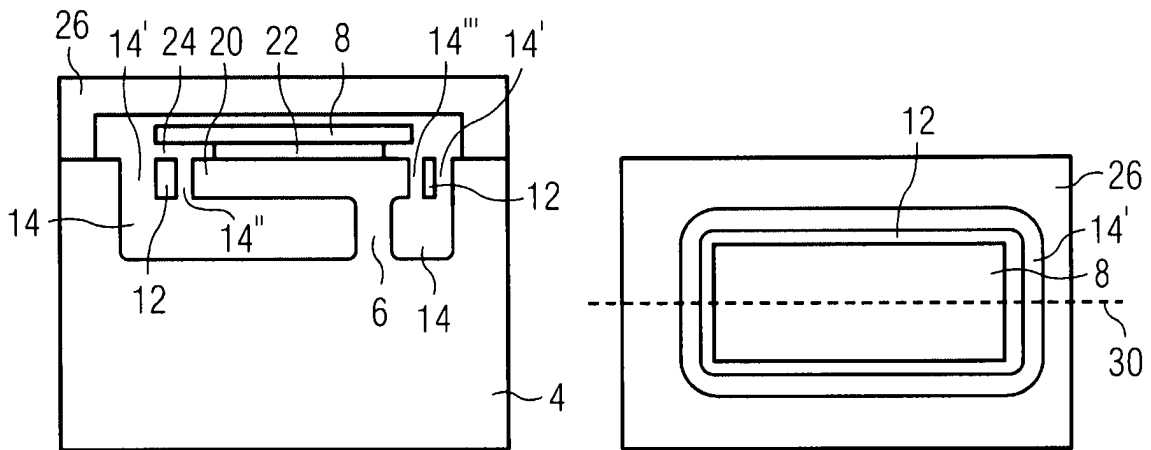


FIG. 4

f)



g)

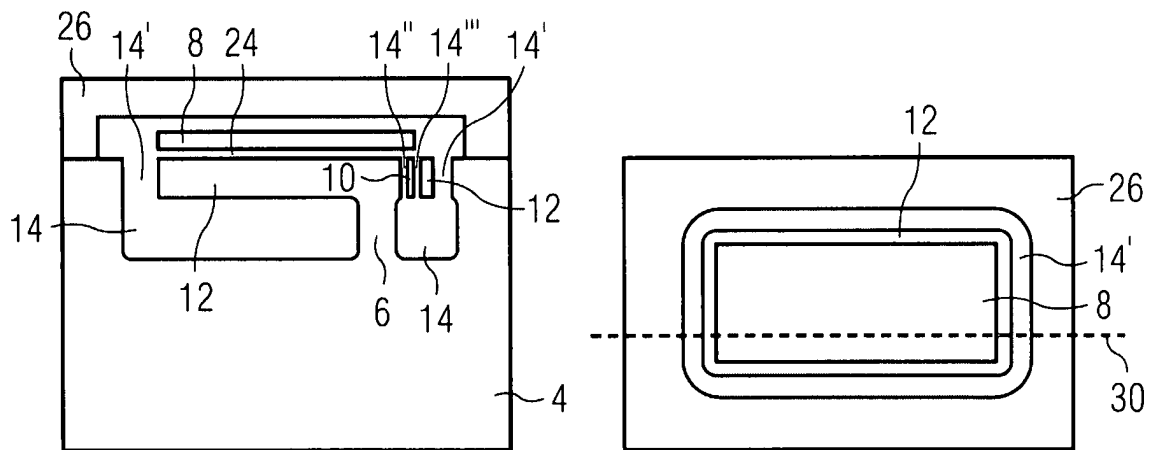


FIG. 5

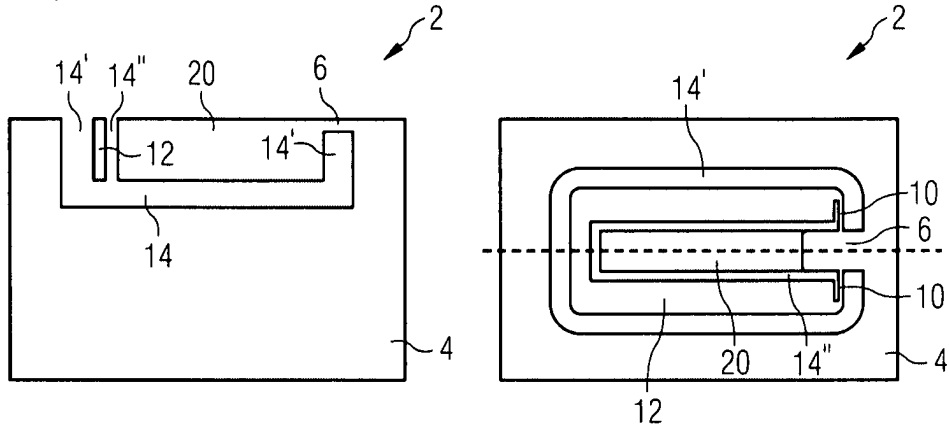


FIG. 6A

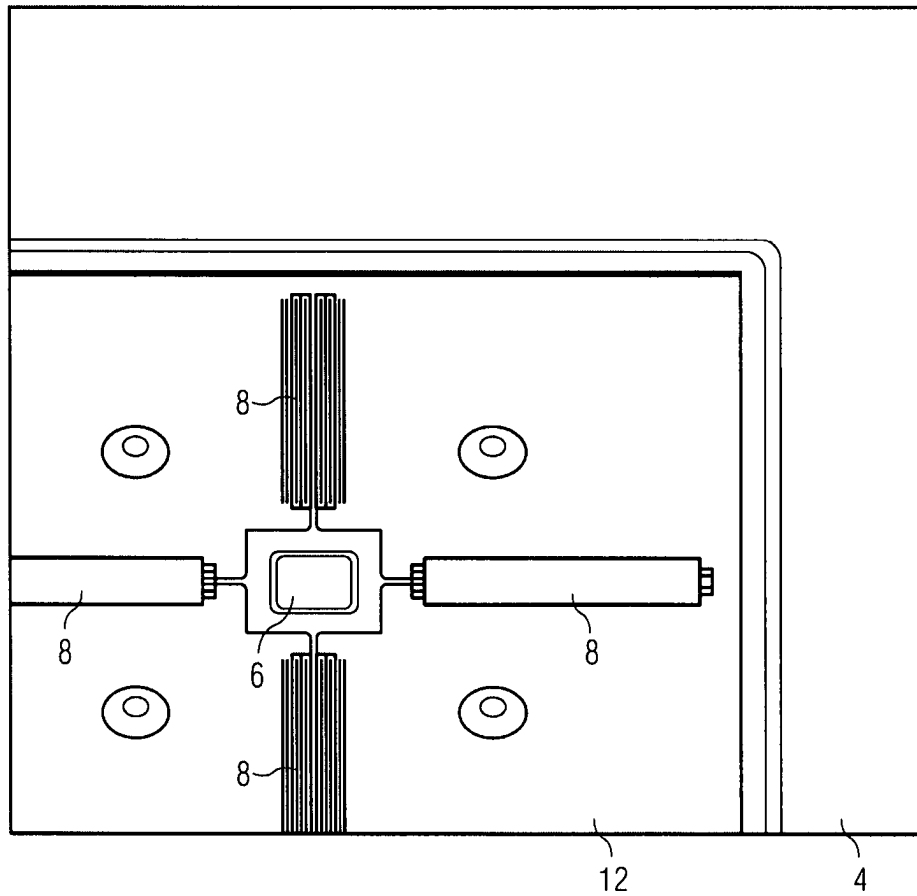


FIG. 6B

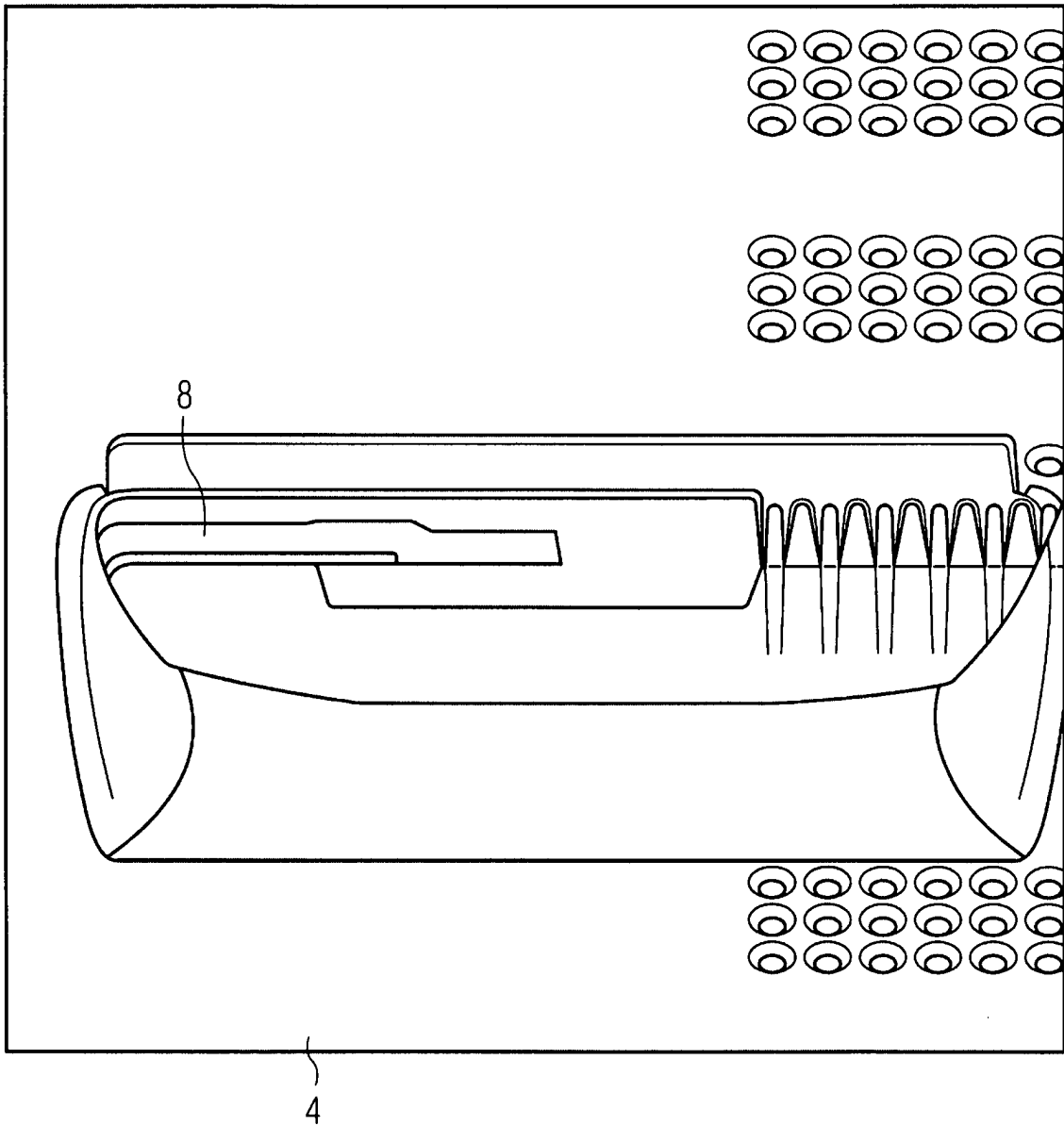


FIG 6C

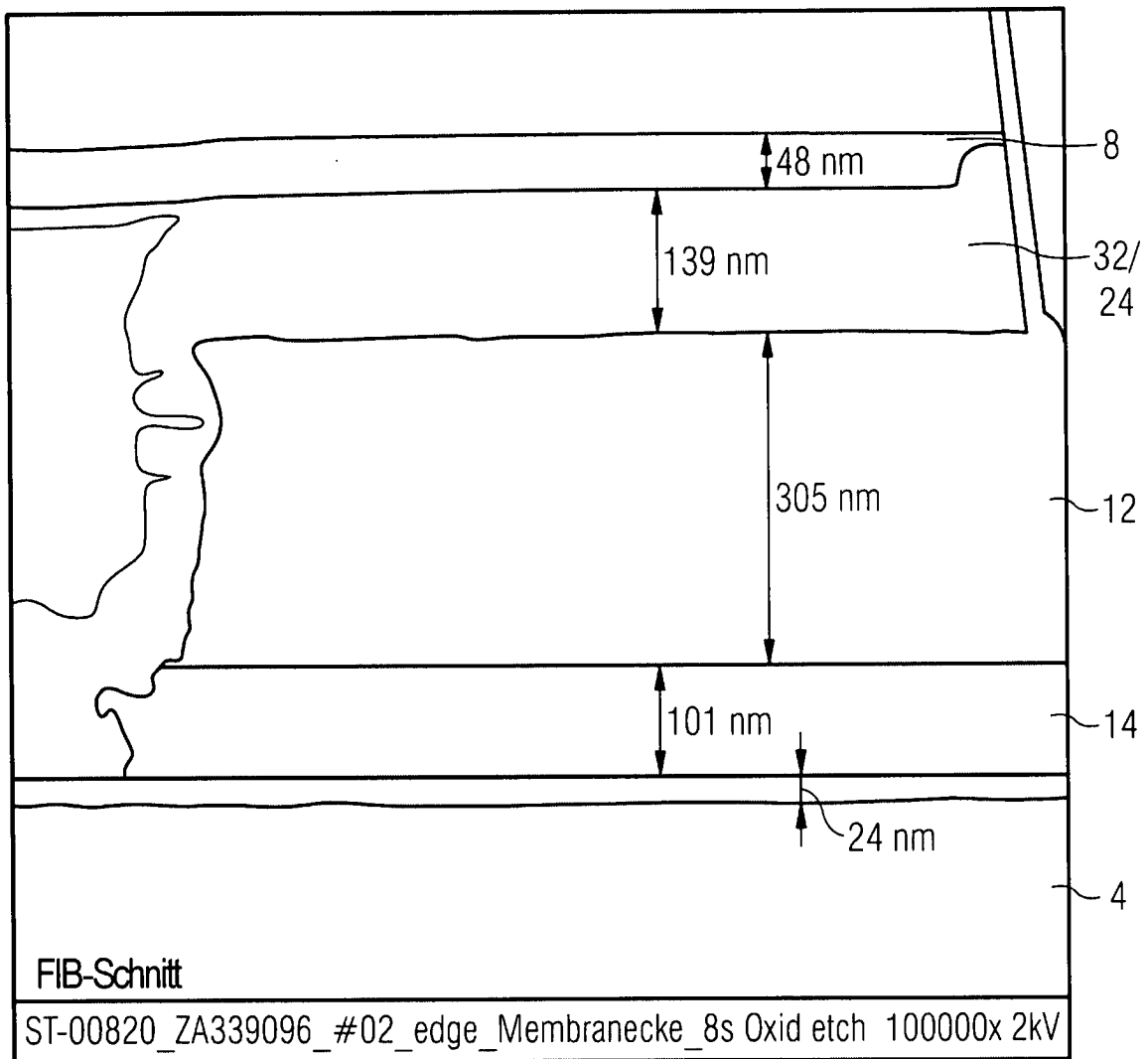


FIG 7

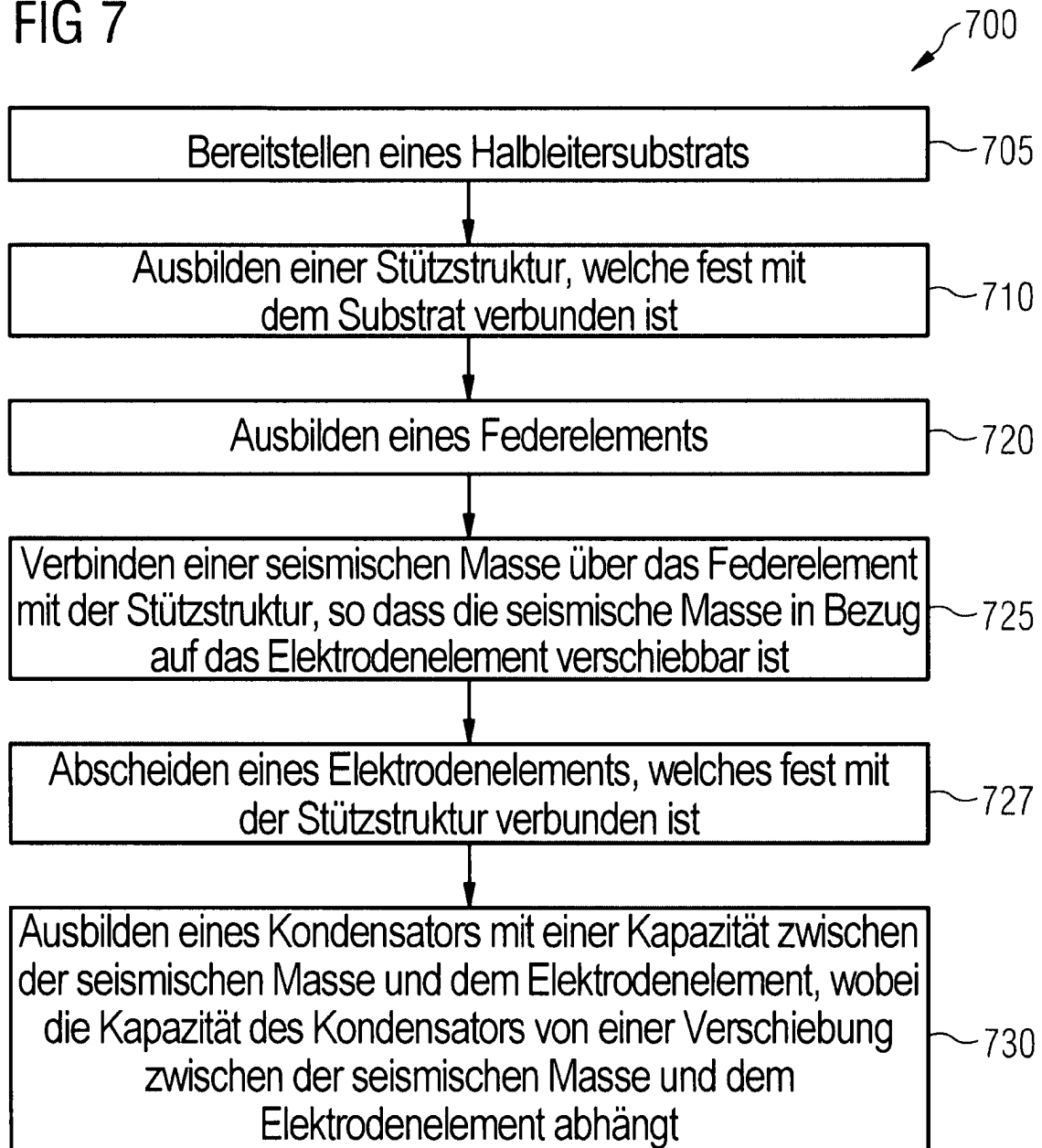


FIG 8

