



(10) **DE 10 2004 043 233 B4** 2014.02.13

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 043 233.3**  
(22) Anmeldetag: **07.09.2004**  
(43) Offenlegungstag: **07.04.2005**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.02.2014**

(51) Int Cl.: **B81C 1/00 (2006.01)**  
**H01L 21/306 (2006.01)**  
**H05K 3/06 (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).

(30) Unionspriorität:

**2003/318267**      **10.09.2003**    **JP**  
**2003-324586**      **17.09.2003**    **JP**

(73) Patentinhaber:

**DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref.,  
JP**

(74) Vertreter:

**WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,  
KAISER, POLTE Partnerschaft, 85354, Freising,  
DE**

(72) Erfinder:

**Asami, Kazushi, Kariya, Aichi, JP; Oohara, Junji,  
Kariya, Aichi, JP; Muto, Hiroshi, Kariya, Aichi,  
JP; Sugiura, Kazuhiko, Kariya, Aichi, JP; Fukada,  
Tsuyoshi, Kariya, Aichi, JP; Takeuchi, Yukihiko,  
Kariya, Aichi, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>102 23 729</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>6 187 685</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>6 365 056</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>6 399 516</b>	<b>B1</b>
<b>EP</b>	<b>0 710 977</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>H08- 181 125</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines beweglichen Abschnitts einer Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

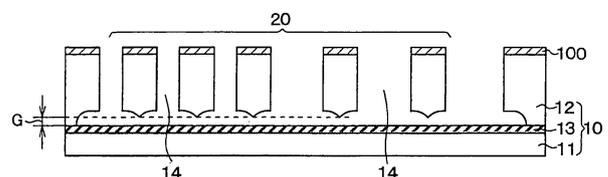
Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei

die Schritte des Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, dadurch gekennzeichnet, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass ...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines beweglichen Abschnitts einer Halbleitervorrichtung gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 bis 5.

**[0002]** Eine Halbleitervorrichtung, die einen beweglichen Abschnitt aufweist, sieht zum Beispiel einen Sensor für eine physikalische Größe vor. In dem Sensor ist der bewegliche Abschnitt auf einem Halbleitersubstrat ausgebildet. Der bewegliche Abschnitt ist in Übereinstimmung mit einer physikalischen Größe, wie zum Beispiel einer Beschleunigung, beweglich, die auf den Sensor ausgeübt wird. Der Sensor beinhaltet weiterhin einen festen Abschnitt. Der feste Abschnitt und der bewegliche Abschnitt bilden einen Kondensator aus, der eine elektrostatische Kapazität aufweist, welche in Übereinstimmung mit der Verschiebung des beweglichen Abschnitts derart änderbar ist, dass die physikalische Größe erfasst wird, die auf den Sensor ausgeübt wird.

**[0003]** Ein Verfahren zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts ist in den US-Patenten US 6 399 516 B1 und US 6 365 056 B1 offenbart. In diesem Verfahren ist der bewegliche Abschnitt unter Verwendung eines Kerbeffektes ausgebildet. Genauer gesagt wird eine Halbleiterschicht auf einer Isolationsschicht in einem Substrat in einem reaktiven Ionenätzverfahren derart überätzt, dass die Halbleiterschicht von der Isolationsschicht getrennt wird. Daher wird der bewegliche Abschnitt ausgebildet. In diesem Fall werden ein Grabenausbildungsverfahren zum Ausbilden eines Grabens auf der Halbleiterschicht und ein Trennverfahren zum Trennen der Halbleiterschicht von der Isolationsschicht aufeinanderfolgend unter der gleichen Ätzbedingung durchgeführt. Deshalb ist ein Steuern (das heißt eine Ätzbedingung) zum Steuern des Trennverfahrens lediglich durch ein Steuern einer Ätzzeit vorgesehen. Daher wird eine Form einer Kerbe, das heißt eine Form des beweglichen Abschnitts, nicht genau gesteuert. Genauer gesagt wird ein Spalt zwischen dem beweglichen Abschnitt und der Isolationsschicht nicht gesteuert.

**[0004]** Daher weist der Sensor unterschiedliche bewegliche Abschnitte auf, die unterschiedliche Spalte aufweisen. Jedoch ist es bevorzugt, dass der Spalt zwischen dem beweglichen Abschnitt und der Isolationsschicht gleichmäßig ist, um einheitliche Sensorcharakteristiken zu erzielen.

**[0005]** Weiterhin kann in dem Trennverfahren ein nadelähnlicher Vorsprung auf der Innenwand des Grabens, das heißt auf der Innenwand der Kerbe, ausgebildet werden, welche der Isolationsschicht gegenüberliegt. Der Vorsprung der Kerbe kann gebrochen werden, wenn ein starker Stoß derart auf den Vorsprung ausgeübt wird, dass der Vorsprung die

Isolationsschicht zerschmettert. Der gebrochene Vorsprung kann einen Partikel in dem Plasma verursachen und das Plasma kann ein Problem verursachen.

**[0006]** Wenn die Ätzbedingung des Grabenätzverfahrens weiterhin derart optimiert wird, dass der Graben zweckmäßig in einer Tiefenrichtung geätzt wird, wird eine Seitenwand des Grabens stark durch einen Schutzfilm geschützt. In diesem Fall wird in dem Trennverfahren zum Ätzen der Seitenwand des Grabens, um den beweglichen Abschnitt auszubilden, die Ätzgeschwindigkeit der Seitenwand des Grabens in der horizontalen Richtung kleiner, und wird daher die Ätzzeit zum Trennen der Halbleiterschicht von der Isolationsschicht, das heißt die Verfahrenszeit, länger. Daher werden die Herstellungskosten größer.

**[0007]** Die Druckschrift DE 102 23 729 A1 betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, die imstande ist, eine dynamische Größe zu erfassen. Die Vorrichtung wird unter Verwendung eines SOI-Substrats hergestellt, das eine erste Siliziumschicht, eine Oxidschicht und eine zweite Siliziumschicht, die in dieser Reihenfolge geschichtet sind, aufweist. Nach Ausbilden eines Grabens, der die Oxidschicht von der zweiten Siliziumschicht her erreicht, wird eine Trockenätzung ausgeführt und somit der auf dem Grabenboden gelegenen Oxidschicht ermöglicht, zuerst geladen zu werden. Dieses Laden zwingt Ätzionen dazu, auf den Teil der zweiten Siliziumschicht einzuwirken, der seitlich zu dem Grabenboden gelegen ist. Ein solcher Teil wird entfernt, wobei ein beweglicher Abschnitt ausgebildet wird.

**[0008]** Weiter offenbart die Druckschrift EP 0 710 977 A1 ein Oberflächenbehandlungsverfahren und ein System dafür, bei welchem eine Impulsspannung eines Tastverhältnisses von 5% oder weniger und eine Wiederholfrequenz von 400 kHz oder mehr angewandt werden, um Kerbenbildung, Schäden durch Ladungsaufbau, Nebengrabenbildung und Biegen aufgrund des Elektronenabschattungsphänomens zu unterdrücken. Auf diese Weise erfolgt in der Substratausrichtung ein Zyklus zur Beschleunigung von Elektronen, und tritt das Elektronenabschattungsphänomen nicht auf.

**[0009]** Ferner zeigt die Druckschrift US 6 187 685 B1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ätzen eines Substrats. Das Verfahren beinhaltet die Schritte des Ätzens eines Substrats oder des abwechselnden Ätzens und Abscheidens einer Passivierungsschicht. Eine Biasfrequenz, die gepulst sein kann, kann an das Substrat angelegt werden und bei oder unter der Ionenplasmafrequenz liegen.

**[0010]** Schließlich lehrt die Druckschrift US 6 399 516 B1 Plasma-Ätztechniken zum Herstellen von Siliziumstrukturen aus einem Substrat. Eine bereitgestellte Substratkonfiguration beinhaltet eine

Siliziumschicht mit einer ersten Seite und einer Dicke entsprechend einer bestimmten Dicke eines zu erzeugenden Siliziumelements. Die Konfiguration beinhaltet eine Schicht aus einem elektrisch isolierenden Material, das sich unter und benachbart zu der Siliziumschicht befindet. Ein im Wesentlichen vertikaler Graben wird von der ersten Seite aus in die Siliziumschicht geätzt, mit einer Tiefe derart, dass die isolierende Schicht freiliegt. Dann wird der Graben in der Siliziumschicht einer gasförmigen Umgebung ausgesetzt, welche mit Silizium reagiert, um die Siliziumschicht vorzugsweise an der Tiefe der isolierenden Schicht entlang einer Oberfläche der isolierenden Schicht im Wesentlichen seitlich zu ätzen. Dieses seitliche Ätzen wird für eine Dauer fortgesetzt, die zu einem Siliziumelement über der isolierenden Schicht führt.

**[0011]** Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung als eine Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts einer Halbleitervorrichtung zu schaffen, die einen einheitlichen beweglichen Abschnitt aufweist. Darüber hinaus soll die Erfindung ein Verfahren zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts einer Halbleitervorrichtung ohne irgendeinen nadelähnlichen Vorsprung schaffen, wobei das Verfahren eine kurze Verfahrenszeit zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts aufweist.

**[0012]** Diese Aufgabe wird mit den in den Ansprüchen 1 bis 5 angegebenen kennzeichnenden Merkmalen gelöst.

**[0013]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0014]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert.

**[0015]** Es zeigt:

**[0016]** Fig. 1 eine Draufsicht eine Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

**[0017]** Fig. 2 eine synthetisierte Querschnittsansicht des Sensors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel entlang Linien IIA, IIB und IIC in Fig. 1;

**[0018]** Fig. 3 eine eine reaktive Ionenätzausstattung zeigende schematische Ansicht gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel;

**[0019]** Fig. 4A bis Fig. 4E Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Herstellen des Sensors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel erläutern;

**[0020]** Fig. 5 eine schematische Ansicht einer reaktiven Ionenätzausstattung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

**[0021]** Fig. 6A und Fig. 6B Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Herstellen eines Sensors gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel erläutern;

**[0022]** Fig. 7A bis Fig. 7C Querschnittsansichten, die ein bekanntes Verfahren zum Herstellen eines Sensors für einen Vergleich mit dem ersten Ausführungsbeispiel erläutern;

**[0023]** Fig. 8 eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel;

**[0024]** Fig. 9 eine schematische perspektivische Ansicht des Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel;

**[0025]** Fig. 10A eine Querschnittsansicht des Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel entlang einer Linie XA-XA in Fig. 9;

**[0026]** Fig. 10B eine Querschnittsansicht des Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel entlang einer Linie XB-XB in Fig. 9;

**[0027]** Fig. 11A bis Fig. 11E Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Herstellen des Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel erläutern;

**[0028]** Fig. 12 eine schematische Querschnittsansicht eines Grabens eines Halbleiterbeschleunigungssensors gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel;

**[0029]** Fig. 13A bis Fig. 13D Querschnittsansichten der Gräben, die unterschiedliche Seitenverhältnisse aufweisen, gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel;

**[0030]** Fig. 14 einen Graph einer Beziehung zwischen einem Seitenverhältnis und einer Kerbrate gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel;

**[0031]** Fig. 15A eine perspektivische Ansicht eines Sensors gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel;

**[0032]** Fig. 15B eine Querschnittsansicht des Sensors gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel entlang einer Linie XVB-XVB in Fig. 15A;

**[0033]** Fig. 16 eine Querschnittsansicht eines Sensors für einen Vergleich mit dem vierten Ausführungsbeispiel;

**[0034]** Fig. 17A bis Fig. 17E Querschnittsansichten, die ein bekanntes Verfahren zum Herstellen des Sensors für einen Vergleich mit dem vierten Ausführungsbeispiel erläutern;

**[0035]** Fig. 18A und Fig. 18B Querschnittsansichten, die das bekannte Verfahren zum Herstellen des Sensors für einen Vergleich mit dem vierten Ausführungsbeispiel erläutern; und

**[0036]** Fig. 19A bis Fig. 19C Querschnittsansichten eines Ausbildens eines nadelähnlichen Vorsprungs gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel.

**[0037]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines ersten Ausführungsbeispiels der Halbleitervorrichtung.

**[0038]** Die Erfinder haben einleitend ein Verfahren zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts unter Verwendung eines Kerbeffekts untersucht.

**[0039]** Wie in den Fig. 7A bis Fig. 7C gezeigt ist, wird ein Halbleitersubstrat **10**, das Halbleiterschichten **11**, **12** und eine Isolationsschicht **13** aufweist, unter Verwendung des Kerbeffekts ausgebildet. Die Isolationsschicht **13** ist innerhalb des Substrats **10** angeordnet und die Halbleiterschichten **11**, **12** sind auf der Oberfläche des Substrats **10** angeordnet. Das Substrat **10** ist ein SOI-(Silizium-auf-Isolator)-Substrat, welches eine erste Siliziumschicht **11** als eine erste Halbleiterschicht, eine eingebettete Oxidschicht **13** als eine Isolationsschicht und eine zweite Siliziumschicht **12** als die zweite Halbleiterschicht aufweist.

**[0040]** Als erstes wird eine Maske **100** auf der Oberfläche der zweiten Siliziumschicht **12** ausgebildet. Die Maske **100** weist ein vorbestimmtes Muster auf, welches einem beweglichen Abschnitt **20** entspricht. Dieses Verfahren ist ein Maskenausbildungsverfahren. Danach wird die zweite Siliziumschicht **12** von der Oberfläche der zweiten Siliziumschicht **12** derart geätzt, dass ein Graben in der zweiten Siliziumschicht **12** ausgebildet wird. Der Graben **14** erreicht die eingebettete Oxidschicht **13**. Dieses Verfahren ist ein Grabenausbildungsverfahren. Aufeinanderfolgend wird eine Seitenwand des Grabens **14** in einer horizontalen Richtung geätzt, welche parallel zu der eingebetteten Oxidschicht **13** ist. Genauer gesagt wird ein Teil der zweiten Siliziumschicht **12**, welcher auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist und in der horizontalen Richtung angeordnet ist, geätzt. Daher wird die zweite Siliziumschicht **12** von der eingebetteten Oxidschicht **13** derart entfernt, dass der bewegliche Abschnitt **12** ausgebildet wird. Dieses Verfahren ist ein Trennverfahren. Dieses Herstellungsverfahren, das das Grabenausbildungsverfahren und das Trennverfahren beinhaltet, wird durch einen Kerbeffekt vorgesehen, wenn die zweite Siliziumschicht

**12** geätzt wird, um den Graben **14** unter Verwendung eines reaktiven Ionenätzverfahrens auszubilden.

**[0041]** Der Kerbeffekt ist derart, dass die Seitenwand des Grabens **14**, der sich in der Nähe der eingebetteten Oxidschicht **13** befindet und in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, lokal in der horizontalen Richtung in einem Fall geätzt wird, in dem das Grabenausbildungsverfahren fortgesetzt wird, nachdem der Boden des Grabens **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht, das heißt in einem Fall, in dem das Substrat **12** überätzt wird. In dem vorhergehenden Verfahren wird das Trennverfahren durch dieses Überätzverfahren, das heißt den Kerbeffekt, vorgesehen. Genauer gesagt wird eine Kerbe **110** durch den Kerbeffekt ausgebildet. Die Kerbe **110** ist eine lokale Konkavität auf der Seitenwand des Grabens **14** und die Kerbe **110** wird mit dem Verstreichen der Zeit des Überätzverfahrens größer.

**[0042]** Deshalb wird, wenn benachbarte zwei Gräben **14** auf dem Substrat derart überätzt werden, dass die Kerben **110** auf jeder Seitenwand der Gräben **14** ausgebildet werden, die zweite Siliziumschicht **12**, die zwischen den benachbarten Gräben **14** angeordnet ist, teilweise entfernt. Das heißt, zwei Kerben **110** auf beiden Seiten werden verbunden. Genauer gesagt wird der Bodenabschnitt der zweiten Siliziumschicht **12** derart geätzt, dass die verbleibende zweite Siliziumschicht, welche ein oberer Abschnitt ist, von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt wird. Daher ist der bewegliche Abschnitt **20** fertiggestellt.

**[0043]** In dem Sensor für eine physikalische Größe weist der bewegliche Abschnitt **20** einen Träger, einen Gewichtsabschnitt, eine bewegliche Elektrode und dergleichen auf, welche vorbestimmte unterschiedliche Formen aufweisen. Deshalb weist die Maske **100** ein entsprechendes Maskenmuster auf, welches dem beweglichen Abschnitt entspricht, so dass die Maske **100** einen breiten Graben **14** und einen schmalen Graben **14** aufweist, welche auf verschiedene Weisen angeordnet sind. Der breite Graben **14** weist eine breite Öffnung auf und der schmale Graben **14** weist eine schmale Öffnung auf.

**[0044]** Im allgemeinen weist der schmale Graben **14** eine niedrige Ätzgeschwindigkeit auf, die niedriger als die des breiten Grabens **14** ist. Dies ist so, da während des reaktiven Ionenätzverfahrens ein Microloading-Effekt wirkt. Deshalb erreicht in dem Grabenausbildungsverfahren der breite Graben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** zuerst. Danach erreicht der schmale Graben **14** die eingebettete Oxidschicht **13**. Wenn der schmale Graben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht, beginnt sich zuerst die Kerbe **110** auf der Seitenwand des breiten Grabens **14** auszubilden. Genauer gesagt beginnt sich die Kerbe **110** auf der Seitenwand des breiten Grabens **14** auszubilden.

den, bevor der schmale Graben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht.

**[0045]** Deshalb wird ein Teil der zweiten Siliziumschicht **12**, der von den vergleichsweise breiten Gräben **14** beidseitig umfasst wird, schnell von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt und wird ein anderer Teil der zweiten Siliziumschicht **13**, der von den vergleichsweise schmalen Gräben **14** beidseitig umfasst wird, langsam von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt. Der Teil der zweiten Siliziumschicht **12**, der von den vergleichsweise breiten Gräben **14** beidseitig umfasst wird, wird durch den Kerbeffekt derart stark überätzt, dass der bewegliche Abschnitt **20**, der dem Teil der zweiten Siliziumschicht **12** entspricht, die von den breiten Gräben **14** beidseitig umfasst wird, einen großen Spalt G1 zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** aufweist. Andererseits weist ein anderer beweglicher Abschnitt **20**, der dem anderen der zweiten Siliziumschicht **12** entspricht, der von den verhältnismäßig schmalen Gräben **14** beidseitig umfasst wird, einen kleinen Spalt G2 auf. Daher weisen die Spalte G1, G2 zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** unterschiedliche Abstände zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** auf.

**[0046]** Um den beweglichen Abschnitt **20** steuerbar auszubilden, wird eine zusätzliche Verfahrensbedingung zum Steuern des Kerbeffekts ausgenommen der Ätzzeit in einem Verfahren zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts **20** gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung vorgesehen. Weiterhin sind das Grabenausbildungsverfahren und das Trennverfahren offensichtlich geteilt, so dass jede Ätzbedingung optimiert steuerbar ist. Ein detailliertes Verfahren zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts wird wie folgt beschrieben.

**[0047]** Die **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen einen Halbleiterbeschleunigungssensor S1 als eine Halbleitervorrichtung, die durch ein Verfahren gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel hergestellt ist. **Fig. 2** zeigt eine Teilquerschnittsansicht, die durch drei Querschnittsansichten synthetisiert ist, die drei Teile des Sensors S1 zeigen, die entlang Linien IIA-IIA, IIB-IIB und IIC-IIC in **Fig. 1** genommen sind. Obgleich die Halbleitervorrichtung S1 der Beschleunigungssensor S1 ist, kann die Halbleitervorrichtung S1 eine andere Vorrichtung sein, solange die Halbleitervorrichtung S1 den beweglichen Abschnitt **20** aufweist, welcher derart ausgebildet ist, dass der Graben **14** auf der Halbleiterschicht **12** des Substrats **10** ausgebildet ist, das die Isolationsschicht **13** aufweist, die innerhalb von ihr ausgebildet ist, und die Halbleiterschicht **12** ist derart von der Isolationsschicht **12** getrennt, dass der bewegliche Abschnitt **20** ausgebildet ist.

**[0048]** Der Sensor S1 ist zum Beispiel ein Beschleunigungssensor oder ein Gyrosensor zum Steuern eines Airbags, eines ABS bzw. Antiblockierbremssystems, eines VSC- bzw. Fahrzeugstabilitätssteuersystems oder dergleichen in einem Kraftfahrzeug. Der Sensor S1 weist ein Halbleitersubstrat **10** auf, das Halbleiterschichten **11**, **12** und eine Isolationsschicht **13** aufweist. Die Isolationsschicht **13** ist innerhalb des Substrats **10** angeordnet und die Halbleiterschichten **11**, **12** sind auf der Oberfläche des Substrats **10** angeordnet. Das Substrat **10** ist ein SOI- bzw. Silizium-auf-Isolator-Substrat, welches die erste Siliziumschicht **11** als die erste Halbleiterschicht, eine eingebettete Oxidschicht **13** als eine Isolationsschicht und die zweite Siliziumschicht **12** als die zweite Halbleiterschicht aufweist. Die zweite Siliziumschicht **12** ist eine SOI-Schicht. Die eingebettete Oxidschicht **13** besteht aus einem Siliziumoxidfilm. Das Substrat **10** weist eine rechteckige Form aus.

**[0049]** Ein Graben **14** ist in der zweiten Siliziumschicht **12** derart ausgebildet, dass ein beweglicher Abschnitt **20** und feste Abschnitte **30**, **40** in der zweiten Siliziumschicht **12** ausgebildet sind. Der bewegliche Abschnitt **20** und die festen Abschnitte **30**, **40** weisen eine Trägerkonstruktion und eine Kammzahnform auf. Der bewegliche Abschnitt **20** beinhaltet einen Gewichtsabschnitt **21** und einen Federabschnitt **22**. Der Gewichtsabschnitt **21** weist eine rechteckige Form auf und der Federabschnitt **22** ist auf beiden Seiten des Gewichtsabschnitts **21** angeordnet. Der bewegliche Abschnitt **20** wird von einem Paar von Ankern **23a**, **23b** durch den Federabschnitt **22** gehalten.

**[0050]** Die Anker **23a**, **23b** sind auf der eingebetteten Oxidschicht **13** befestigt, die unter den Ankern **23a**, **23b** angeordnet ist, wie in **Fig. 2** gezeigt ist. Der bewegliche Abschnitt **20**, das heißt der Gewichtsabschnitt **21** und der Federabschnitt **22**, der zwischen den Ankern **23a**, **23b** angeordnet ist, ist von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt. In dem beweglichen Abschnitt **20** werden der Gewichtsabschnitt **21** und der Federabschnitt **22** durch die Anker **23a**, **23b** auf der eingebetteten Oxidschicht **13** aufgehängt.

**[0051]** Der Federabschnitt **22** weist ein Paar von Trägern auf, dessen beide Enden miteinander verbunden sind, so dass die zwei Träger eine rechteckige Form ausbilden. Der Federabschnitt **22** ist eine Richtung verschiebbar, die senkrecht zu einer Längsrichtung des Trägers ist. Das heißt, der Federabschnitt **22** ist in eine Richtung X in **Fig. 1** beweglich. Deshalb wird, wenn auf den Sensor S1 eine Beschleunigung in der Richtung X ausgeübt wird, der Gewichtsabschnitt **21** in die Richtung X verschoben und wird der Federabschnitt **22** ebenso in die Richtung X verschoben. Wenn die Beschleunigung, die auf den Sensor S1 ausgeübt wird, verschwindet, werden der Federabschnitt **22** und der Gewichtsabschnitt **21** zu ei-

ner neutralen Position zurückgeführt. Daher ist der bewegliche Abschnitt **20** in der Richtung X in Übereinstimmung mit dem Ausüben der Beschleunigung beweglich. In diesem Fall arbeiten die Anker **23a, 23b** als Haltepunkte, das heißt feste Punkte, des beweglichen Abschnitts **20**.

**[0052]** Der Gewichtsabschnitt **21** weist mehrere bewegliche Elektroden **24** auf. Die Hälfte der beweglichen Elektroden **24** steht von einer Seite des Gewichtsabschnitts **21** hervor und eine andere Hälfte der beweglichen Elektroden **24** steht von der anderen Seite des Gewichtsabschnitts **21** hervor. Die beweglichen Elektroden **24** stehen integral von dem Gewichtsabschnitt **21** in eine Richtung hervor, die senkrecht zu der Richtung X ist, welche parallel zu der Verschiebungsrichtung des Federabschnitts **22** ist. Daher sehen die beweglichen Elektroden **24**, die von beiden Seiten des Gewichtsabschnitts **21** gegenüberliegend hervorstehen eine Kammzahnform vor. In diesem Ausführungsbeispiel steht jede der drei beweglichen Elektroden **24** von einer rechten oder linken Seite des Gewichtsabschnitts **21** hervor. Jede bewegliche Elektrode **24** weist einen rechteckförmigen Querschnitt auf und sieht einen Träger vor. Die bewegliche Elektrode **24** ist von der eingebetteten Oxidschicht **13** entfernt angeordnet. Zum Beispiel trägt ein Spalt, das heißt ein Abstand zwischen der beweglichen Elektrode **24** und der eingebetteten Oxidschicht **13** ungefähr wenige Mikrometer.

**[0053]** Daher ist die bewegliche Elektrode **24** integral mit dem Gewichtsabschnitt **21** und dem Federabschnitt **22** ausgebildet, so dass die bewegliche Elektrode **24** ein Teil des beweglichen Abschnitts **20** ist. Die bewegliche Elektrode **24** ist zusammen mit dem Gewichtsabschnitt **21** in die Verschiebungsrichtung des Federabschnitts **22** verschiebbar, welche parallel zu der Richtung X ist.

**[0054]** Jeder feste Abschnitt **30, 40** ist auf jeder Seite eines Paares von Seiten des Sensors S1 angeordnet. Hierbei sind die Anker **23a, 23b** eines anderen Paares auf Seiten des Sensors S1 angeordnet. Daher sind die festen Abschnitte **30, 40** auf der eingebetteten Oxidschicht **13** befestigt. Die festen Abschnitte **30, 40** sind auf beiden Seiten des Gewichtsabschnitts **21** derart angeordnet, dass die festen Abschnitte **30, 40** den Gewichtsabschnitt **21** beidseitig umfassen. Der erste feste Abschnitt **30** ist auf der linken Seite des Gewichtsabschnitts **21** angeordnet und der zweite Gewichtsabschnitt **40** ist auf der rechten Seite des Gewichtsabschnitts **21** angeordnet. Die ersten und zweiten festen Abschnitte **30, 40** sind elektrisch voneinander isoliert. Jeder feste Abschnitt **30, 40** beinhaltet einen Verdrahtungsabschnitt **31, 41** und eine feste Elektrode **32** bzw. **42**. Genauer gesagt beinhaltet der erste feste Abschnitt **30** den ersten Verdrahtungsabschnitt **31** und die erste feste Elektrode **32** und beinhaltet der zweite feste Abschnitt **40** den zweiten

Verdrahtungsabschnitt **41** und die zweite feste Elektrode **42**. Der Verdrahtungsabschnitt **31, 41** ist auf der eingebetteten Oxidschicht **13** befestigt, die unter dem Verdrahtungsabschnitt **31, 41** angeordnet ist, so dass der Verdrahtungsabschnitt **31, 41** durch die eingebettete Oxidschicht **13** auf der ersten Siliziumschicht **11** gehalten wird.

**[0055]** Die feste Elektrode **32, 42** steht von dem Verdrahtungsabschnitt **31, 41** in die Richtung hervor, die senkrecht zu der Richtung X ist, welche parallel zu der Verschiebungsrichtung des Federabschnitts **22** ist, so dass die feste Elektrode **32, 42** der beweglichen Elektrode **24** gegenüberliegt. Weiterhin steht die feste Elektrode **32, 42** von der Seite des Verdrahtungsabschnitts **31, 41** zu dem Gewichtsabschnitt **21** hervor, um eine Kammzahnform auszubilden. Daher greift die feste Elektrode **32, 42** über einen vorbestimmten Abstand in die bewegliche Elektrode **24** ein. In diesem Ausführungsbeispiel sind drei feste Elektroden **32, 42** integral ausgebildet, um mit dem Verdrahtungsabschnitt **31, 41** verbunden zu sein.

**[0056]** Jede feste Elektrode **32, 42** weist einen rechteckförmigen Querschnitt auf und sieht derart einen Träger vor, dass die feste Elektrode **32, 42** auf dem Verdrahtungsabschnitt **31, 41** ausgelegt ist. Daher ist die feste Elektrode **31, 41** von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt. Zum Beispiel ist die feste Elektrode **31, 41** um wenige Mikrometer von der eingebetteten Oxidschicht **13** beabstandet angeordnet. Die Seite der festen Elektrode **32, 42** liegt der Seite der entsprechenden beweglichen Elektrode **24** mit einem vorbestimmten Abstand gegenüber, welches ein Erfassungsabstand zwischen den festen und beweglichen Elektroden **24, 32, 42** ist. Eine feste Elektrodenanschlussfläche **31a, 41a** ist auf jedem Verdrahtungsmuster **31, 41** des festen Abschnitts **30, 40** ausgebildet. Die feste Elektrodenanschlussfläche **31a, 41a** ist durch ein Drahtkontaktierungsverfahren mit einer externen Schaltung verbunden. Eine bewegliche Elektrodenanschlussfläche **20a** ist auf einer Seite der Anker **23b** ausgebildet. Die bewegliche Elektrodenanschlussfläche **20a** ist durch das Drahtkontaktierungsverfahren mit der externen Schaltung verbunden. Die festen und beweglichen Elektrodenanschlussflächen **20a, 31a, 41a** bestehen aus Aluminium oder dergleichen. Der Sensor S1 ist in ein Gehäuse (nicht gezeigt) eingebaut. Genauer gesagt ist die rückseitige Oberfläche der ersten Siliziumschicht **11**, welche der eingebetteten Oxidschicht **13** gegenüberliegt, durch einen Klebstoff oder dergleichen an dem Gehäuse befestigt. Das Gehäuse beinhaltet die externe Schaltung derart, dass die externe Schaltung über einen Golddraht oder einen Aluminiumdraht, die durch das Drahtkontaktierungsverfahren ausgebildet sind, elektrisch mit den festen und beweglichen Elektrodenanschlussflächen **20a, 31a, 41a** verbunden ist.

**[0057]** Hierbei bilden die erste feste Elektrode **32** und die bewegliche Elektrode **24** den ersten Kondensator aus, der die erste Kapazität CS1 aufweist, und bilden die zweite feste Elektrode **42** und die bewegliche Elektrode **24** den zweiten Kondensator aus, der die zweite Kapazität CS2 aufweist. Wenn die Beschleunigung auf den Sensor S1 ausgeübt wird, wird der bewegliche Abschnitt **20** integral mit dem Gewichtsabschnitt **21** auf Grund der Federcharakteristik des Federabschnitts **22** in die Richtung X verschoben. Hierbei arbeitet der Anker **23a**, **23b** als ein Träger. Dann wird der Abstand zwischen der ersten oder zweiten festen Elektrode **32**, **42** und der beweglichen Elektrode **24** in Übereinstimmung mit der Verschiebung der beweglichen Elektrode **24** derart geändert, dass die ersten und zweiten Kapazitäten CS1, CS2 in Übereinstimmung mit der Abstandsänderung geändert werden. Auf der Grundlage einer Differenz zwischen den ersten und zweiten Kapazitäten CS1, CS2 (das heißt CS1-CS2) wird die Beschleunigung, die in die Richtung X auf den Sensor S1 ausgeübt wird, erfaßt.

**[0058]** Der vorhergehende Beschleunigungssensor S1 wird wie folgt hergestellt. Die **Fig. 3** und **Fig. 4** erläutern ein Verfahren zum Herstellen des Sensors S1 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die reaktive Ionenätzausstattung ist in **Fig. 3** gezeigt. **Fig. 4** erläutert jede Verarbeitung des Verfahrens. **Fig. 4** entspricht nicht **Fig. 2** und ist eine schematische Querschnittsansicht, die den beweglichen Abschnitt **20** zeigt.

**[0059]** Zuerst wird das Substrat **10**, das die ersten und zweiten Siliziumschichten **11** und **12** und die eingebettete Oxidschicht **13** aufweist, vorbereitet, wie in **Fig. 4A** gezeigt ist. Das Substrat wird in dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren unter Verwendung der reaktiven Ionenätzausstattung verarbeitet, die in **Fig. 3** gezeigt ist. Im Allgemeinen wird der Sensor S1 aus einem Halbleiterwafer ausgebildet. Genauer gesagt wird der Sensor S1 als ein Chip erzielt, der aus dem Wafer geschnitten wird, der mehrere Chips aufweist. In diesem Ausführungsbeispiel wird der Wafer in dem Maskenausbildungsverfahren, dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren verarbeitet und wird dann der Wafer in mehrere Chips geteilt. Daher wird der Sensor S1 ausgebildet.

**[0060]** Die reaktive Ionenätzausstattung beinhaltet eine Vakuumkammer **200** mit einer Halterung **201**. Der Wafer, das heißt das Substrat **10**, wird in die Halterung **201** eingesetzt. Dann wird ein reaktives Gas derart in die Kammer **200** eingebracht, dass das reaktive Gas in einen Plasmazustand übergeht. Ein Ätzgas als das reaktive Gas, wie zum Beispiel ein SF<sub>6</sub>-Gas (das heißt ein Schwefelhexafluoridgas) oder dergleichen, und ein Abscheidungsgas als das andere reaktive Gas, wie zum Beispiel ein C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gas

(das heißt ein Octafluoro-2-Buten-Gas) oder dergleichen, werden abwechselnd in die Kammer **200** eingebracht. Das reaktive Gas und dergleichen, das heißt die Gase, werden durch eine Vakuumpumpe derart aus der Kammer **200** evakuiert, dass der Druck in der Kammer **200**, das heißt ein Kammerdruck, an einem vorbestimmten konstanten Druck gehalten wird.

**[0061]** Die Ausstattung beinhaltet zwei Typen von HF- bzw. Hochfrequenz-Energieversorgungen **202**, **203**, **204**. Eine ist die HF-Energieversorgung **202** zum Erzeugen von Plasma (das heißt die Plasma erzeugende HF-Energieversorgung). Die andere ist die HF-Energieversorgung **203**, **204** zum Anlegen eines elektrischen Vorfelds (das heißt die HF-Energieversorgung für ein elektrisches Vorfeld). Die HF-Energieversorgung **202** erzeugt derart ein Plasma in der Kammer **200**, dass das reaktive Gas, das in die Kammer **200** eingebracht wird, in den Plasmazustand übergeht. Die HF-Energieversorgungen **203**, **204** legen das elektrische Vorfeld derart an das Substrat **10** an, das in die Kammer **200** eingebracht ist, dass ein reaktives Ion in dem Plasma zu dem Substrat **10** hin beschleunigt wird. Daher wird das Substrat **10** mit dem reaktiven Ion derart bestrahlt, dass das Substrat durch das Ion geätzt wird.

**[0062]** Daher wird das Substrat **10** durch das reaktive Ionenätzverfahren geätzt. In dem reaktiven Ionenätzverfahren werden abwechselnd ein Ätzschritt zum Ätzen des Substrats **10** und ein Schutzfilmabscheidungsschritt (das heißt ein Abscheidungsschritt) zum Abscheiden eines Schutzfilms, das heißt eines Passivierungsfilms, auf dem Substrat **10** durchgeführt. In dem Ätzschritt ätzt das Ätzgas in dem Plasmazustand die zweite Halbleiterschicht **12** als die zweite Siliziumschicht. In dem Schutzfilmabscheidungsschritt wird der Schutzfilm auf der Innenwand des Grabens **14** unter Verwendung des Abscheidungsgases in dem Plasmazustand abgeschieden. Der Schutzfilm schützt die Innenwand des Grabens **14** davor, geätzt zu werden. Zum Beispiel ätzt das SF<sub>6</sub>-Gas in dem Plasmazustand, das heißt das SF<sub>6</sub>-Plasma, die zweite Halbleiterschicht **12** derart, dass der Ätzschritt durchgeführt wird. Das C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gas in dem Plasmazustand, das heißt das C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Plasma, scheidet den Schutzfilm auf der Innenwand des Grabens **14** derart ab, dass der Abscheidungsschritt durchgeführt wird. Daher wird der Schutzfilm auf der Innenwand des Grabens **14** abgeschieden und wird dann der Boden des Grabens **14** in der Tiefenrichtung geätzt. Diese Schritte werden während des reaktiven Ionenätzverfahrens wiederholt.

**[0063]** Hierbei wird in dem Verfahren zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts **20**, das in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** gezeigt ist, auch dann, wenn der Boden von einigen Gräben die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht, fortgesetzt, dass das Ionenätzverfahren durchgeführt wird. In diesem Fall wird die Oberflä-

che der eingebetteten Oxidschicht **13** positiv geladen. Daher stoßen in dem Schritt eines Ätzens der zweiten Halbleiterschicht **12** des Verfahrens, das in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** gezeigt ist, ein Ätzion, das heißt ein positives Ion, das zu dem Substrat **10** abgestrahlt wird, und die positiv geladene Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** einander elektrisch ab, so dass die Abstrahlungsrichtung des positiven Ions gebeugt wird. Dann geht das positive Ion zu der Innenwand des Grabens **14**. Daher wird die Innenwand des Grabens **14** durch das Ätzion derart geätzt, dass eine Kerbe **110** auf der Innenwand des Grabens **14** ausgebildet wird. Demgemäß wird, nachdem die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freigelegt ist, die Innenwand des Grabens **14** derart geätzt, dass ein Teil der zweiten Halbleiterschicht, welcher der bewegliche Abschnitt **20** wird, von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt wird. Daher fängt die Innenwand jedes Grabens **14** einzeln an, in dem Trennverfahren zu einem unterschiedlichen Anfangszeitpunkt geätzt zu werden. Dies ist so, da der Anfang des Trennverfahrens von jedem Graben **14** zueinander unterschiedlich ist.

**[0064]** Hierbei ist ein Verfahren zum Unterdrücken des Kerbeffekts in dem US-Patent US 6 187 685 B1 offenbart. In diesem Verfahren erzeugt eine HF-Energieversorgung zum Anlegen eines elektrischen Vorfelds ein niederfrequentes Feld, das eine niedrige Frequenz von zum Beispiel 380 kHz aufweist, welche viel niedriger als eine herkömmliche Spannung von zum Beispiel 13,56 MHz ist. Daher erzeugt die HF-Energieversorgung ein pulsartiges elektrisches Feld. Hierbei kann das positive Ion in dem reaktiven Gasplasma dem niederfrequenten elektrischen Feld folgen. Dieses pulsartige niederfrequente elektrische Feld, das zum Erzeugen des elektrischen Vorfelds von der HF-Energieversorgung angelegt wird, kann die positive Entladung bezüglich der eingebetteten Oxidschicht **13** unterdrücken, welche ein Faktor des Kerbeffekts ist. Daher wird der Kerbeffekt derart verringert, dass die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, nicht geätzt wird. Andererseits erzeugt die HF-Energieversorgung zum Anlegen des elektrischen Vorfelds das herkömmliche elektrische Feld, das die herkömmliche Frequenz von zum Beispiel 13,56 MHz aufweist, wenn die eingebettete Oxidschicht **13** derart positiv geladen wird, dass die Innenwand des Grabens **14** unter Verwendung des Kerbeffekts geätzt wird. In diesem Fall wird das elektrische Vorfeld kontinuierlich an das Substrat **10** angelegt.

**[0065]** In diesem Ausführungsbeispiel wird die Frequenz und die Oszillationsbedingung der HF-Energieversorgung **203**, **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds zwischen dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren geschaltet. Genauer gesagt beinhaltet die reaktive Ionenätzstat-

tion zwei HF-Energieversorgungen **203**, **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds. Die erste HF-Energieversorgung **203** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds erzeugt das elektrische Feld, das die niedrige Frequenz von 380 kHz aufweist, derart, dass die erste HF-Energieversorgung **203** das pulsartige elektrische Vorfeld erzeugt. Die erste HF-Energieversorgung **203** wird in dem Grabenausbildungsverfahren verwendet. Hierbei ist das pulsartige elektrische Vorfeld derart, dass die niederfrequente elektrische HF-Energie genau wie ein elektrisches Pulsfeld an das Substrat **10** angelegt wird. Die zweite HF-Energieversorgung **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds erzeugt das elektrische Feld, das die herkömmliche Frequenz von 13,56 MHz aufweist, derart, dass die zweite HF-Energieversorgung **204** kontinuierlich das elektrische Vorfeld erzeugt. Die zweite HF-Energieversorgung **204** wird in dem Trennverfahren verwendet. Hierbei ist das kontinuierliche elektrische Vorfeld derart, dass die elektrische HF-Energie kontinuierlich an das Substrat **10** angelegt wird. Die ersten und zweiten HF-Energieversorgungen **203**, **204** werden durch Ein- und Ausschalten von Schaltern **203a**, **204a** geschaltet.

**[0066]** Das Verfahren zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts **20** in dem Sensor S1 wird wie folgt durchgeführt.

**[0067]** Zuerst wird, wie in **Fig. 4A** gezeigt ist, eine Maske **100**, die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der zweiten Halbleiterschicht **12** ausgebildet. Das vorbestimmte Muster entspricht dem beweglichen Abschnitt **20** und dem festen Abschnitt **30**. Dies ist ein Maskenausbildungsverfahren. Genauer gesagt entspricht das vorbestimmte Muster der Maske **100** einem planaren Muster der zweiten Halbleiterschicht **12** des Sensors S1, der in **Fig. 1** gezeigt ist. Hierbei wird die Maske **100** auf dem Halbleiterwafer, der das Substrat **10** aufweist, in dem Maskenausbildungsverfahren ausgebildet. Die Maske **100** besteht zum Beispiel aus einem herkömmlichen Photoresist, wie zum Beispiel einem unter Licht aushärtenden Harz oder einem thermisch härtenden Harz. Das Substrat mit der Maske **100** wird auf die Halterung **201** in der Kammer **200** eingesetzt.

**[0068]** Als Nächstes wird, wie in den **Fig. 4B** bis **Fig. 4D** gezeigt ist, die zweite Halbleiterschicht **12** von der Oberfläche der zweiten Siliziumschicht **12** derart geätzt, dass der Graben **14** ausgebildet wird, um die eingebettete Oxidschicht **13** zu erreichen. Dies ist ein Grabenausbildungsverfahren. In dem Grabenausbildungsverfahren schaltet sich der erste Schalter **203a** ein und schaltet sich der zweite Schalter **204a** aus. Deshalb wird die HF-Energieversorgung **203** zum Anlegen des pulsartigen elektrischen Vorfelds zum Ätzen der zweiten Halbleiterschicht **12** verwendet. Während des Grabenätzverfahrens legt die HF-Energieversorgung **202** zum Er-

zeugen des Plasmas, das die Oszillationsfrequenz von 13,56 MHz aufweist, die kontinuierliche Oszillation derart an, dass das Plasma in der Kammer **200** erzeugt wird. Demgemäß wird auch dann, wenn der Boden von einigen Gräben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** derart erreicht, dass die eingebettete Oxidschicht **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freigelegt wird, verhindert, dass die freiliegende Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** positiv geladen wird. Daher wird der Kerbeffekt derart unterdrückt, dass die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, nicht teilweise geätzt wird.

**[0069]** In dem Grabenausbildungsverfahren wird das Ätzen während einer ausreichenden Zeit derart durchgeführt, dass alle der Gräben **14**, die der Öffnung der Maske **100** entsprechen, die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreichen. Zu dieser Zeit wird die Innenwand des Grabens **14** auch dann nicht geätzt, wenn der Boden des Grabens **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht, da der Kerbeffekt unterdrückt ist. Dann erreicht der Boden des Grabens **14**, der eine verhältnismäßig kleine Ätzgeschwindigkeit aufweist, die eingebettete Oxidschicht **13**. Wie in den **Fig. 4C** und **Fig. 4D** gezeigt ist, erreicht der Boden des Grabens **14**, der eine verhältnismäßig weite Breite aufweist, zuerst die eingebettete Oxidschicht **13**. Dann erreicht der Boden des Grabens **14**, der eine verhältnismäßig schmale Breite aufweist, die eingebettete Oxidschicht **13**. Dies ist so, da der Graben **14**, der die weite Breite aufweist, auf Grund des Microloading-Effekts schneller als der geätzt wird, der die schmale Breite aufweist.

**[0070]** Auch dann, wenn der Boden des Grabens **14**, der die schmale Breite aufweist, die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreicht, weist die Innenwand des Grabens **14**, der die weite Breite aufweist, keine Kerbe **110** auf, so dass der Graben **14**, der die weite Breite aufweist, seine Form hält. Das Grabenausbildungsverfahren wird beendet, nachdem alle der Böden der Gräben **14** die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreichen, so dass die eingebettete Oxidschicht **13**, die an allen der Öffnungen der Maske **100** angeordnet ist, von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegt. Hierbei kann das Grabenausbildungsverfahren beendet werden, nachdem mindestens einige der Böden der Gräben **14** zum Definieren des beweglichen Abschnitts **20** die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreichen, so dass die eingebettete Oxidschicht **13**, die an einigen der Öffnungen der Maske angeordnet ist, von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegt. Genauer gesagt kann das Verfahren beendet werden, nachdem einige der Gräben **14**, die dem beweglichen Abschnitt **20** entsprechen, die eingebettete Oxidschicht **13** erreichen.

**[0071]** Die Entscheidung einer Ätzzeit, wenn alle der Böden der Gräben **14** die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreichen, wird durch Berechnen der Zeit auf die Grundlage der Ätzgeschwindigkeit der zweiten Halbleiterschicht **12**, die an der Öffnung der Maske **100** angeordnet ist, und der Dicke der zweiten Halbleiterschicht **12** bestimmt.

**[0072]** Weiterhin kann die Entscheidung einer Ätzzeit durch ein Erfassen eines Emissionsspektrums bestimmt werden, das von dem Plasma abgegeben wird. Genauer gesagt kann die Entscheidung auf der Grundlage einer Stärkeänderung einer vorbestimmten Spitze in dem Emissionsspektrum oder einer Stärkeänderung einer Gesamtemission bestimmt werden. Diese Erfassen wird derart durchgeführt, dass ein Fenster auf der Kammer **200** ausgebildet ist und eine Erfassungseinrichtung zum Erfassen des Emissionsspektrums auf dem Fenster eingebaut ist. Die Erfassungseinrichtung erfasst Emissionslicht von der Kammer **200**. In der Kammer **200** gibt das Plasma vom reaktiven Gas Licht ab. Wenn die eingebettete Oxidschicht **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegt, wird die Stärke der vorbestimmten Spitze und/oder die Stärke von allem Licht, das von dem Plasma abgegeben wird, verglichen mit demjenigen geändert, wenn die zweite Halbleiterschicht **12** geätzt wird, um den Graben **14** auszubilden. Deshalb kann die Entscheidung einer Ätzzeit, wenn alle der eingebetteten Oxidschichten **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegen, durch Erfassen der Stärkeänderung mit der Erfassungseinrichtung durch das Fenster der Kammer **200** bestimmt werden.

**[0073]** Weiterhin kann die Entscheidung einer Ätzzeit durch eine Überwachung von Interferenzrändern des Bodens des Grabens **14** bestimmt werden. Die Überwachung von Interferenzrändern wird mit einer Überwachungseinrichtung zum Überwachen des Bodens des Grabens **14** durchgeführt, welche in dem Grabenausbildungsverfahren ausgebildet wird. Wenn alle der eingebetteten Oxidschichten **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegen, verschwinden die Interferenzränder an dem Boden des Grabens **14**. Die Überwachung wird derart durchgeführt, dass ein Fenster auf der Kammer **200** ausgebildet ist und die Überwachungseinrichtung zum Überwachen der Oberfläche des Halbleiterwafers in das Fenster eingebaut ist. Zu diesem Zeitpunkt verschwinden, wenn der Boden des Grabens **14** sich der Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** annähert, die Interferenzränder, da der Teil der zweiten Halbleiterschicht, der zwischen dem Boden des Grabens **14** und der Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** angeordnet ist, dünn wird. Nachdem der Boden des Grabens **14** die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** erreicht, verschwinden die Interferenzränder. Daher wird die Entscheidung der Ätzzeit bestimmt.

**[0074]** Als Nächstes wird das Trennverfahren zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts **20** durch Schalten der Ätzbedingung durchgeführt. In dem Trennverfahren wird die Innenwand der zweiten Halbleiterschicht **12**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, in der horizontalen Richtung geätzt. Daher wird die zweite Halbleiterschicht **12** derart von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt, dass der bewegliche Abschnitt **20** ausgebildet wird. Genauer gesagt schaltet sich der erste Schalter **203a** aus und schaltet sich der zweite Schalter **204a** ein. Daher wird die erste HF-Energieversorgung **203** zu der zweiten HF-Energieversorgung **204** geschaltet. Während des Trennverfahrens legt die HF-Energieversorgung **202** zum Erzeugen des Plasma, das die Oszillationsfrequenz von 13,56 MHz aufweist, die kontinuierliche Oszillation derart an, dass das Plasma in der Kammer **200** erzeugt wird. Daher werden, nachdem das Grabenausbildungsverfahren beendet ist, die Schalter **210a**, **211a** betätigt und werden andere Ätzbedingungen optimiert. Dann wird das Ätzen, das heißt das Überätzen der Innenwand des Grabens **14**, in dem Trennverfahren erneut gestartet. Zu diesem Zeitpunkt wird der Kerbeffekt nicht unterdrückt, so dass die Kerbe **110** auf der Innenwand des Grabens **14** ausgebildet wird, die sich in der Nähe des Bodens des Grabens **14** befindet. Die Kerbe **110** wird größer, wenn das Ätzen fortschreitet. Dann verbindet sich eine Kerbe **110** auf der Innenwand von einem Graben **14** mit einer anderen Kerbe **110** auf der anderen Innenwand des anderen Grabens **14**, welcher dem einen Graben **14** gegenüberliegt. Die benachbarten zwei Gräben **14** sind derart miteinander verbunden, dass die zweite Halbleiterschicht als der bewegliche Abschnitt **20** von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt ist.

**[0075]** Weiterhin wird das Ätzen derart fortgesetzt, dass ein Spalt G zwischen dem Boden der zweiten Halbleiterschicht **12**, das heißt dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13**, breiter wird. Wenn der Spalt G ein vorbestimmter Spalt, zum Beispiel einige wenige Mikrometer, wird, wird das Ätzen beendet. Daher ist das Trennverfahren derart beendet, dass jeder Spalt G zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** abgeglichen ist und eine vorbestimmte Breite aufweist. Weiterhin werden ein Drahtkontaktierungsverfahren und dergleichen derart durchgeführt, dass der Sensor S1 fertiggestellt wird.

**[0076]** Das Verfahren gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel weist die folgenden Charakteristiken auf.

- (1) Das Grabenausbildungsverfahren und das Trennverfahren werden derart unabhängig durchgeführt, dass die zwei Verfahren unterschiedliche Ätzbedingungen aufweisen.
- (2) In dem Grabenausbildungsverfahren wird auch dann, wenn das Ätzen fortgesetzt wird,

nachdem der Boden von einigen Gräben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht, die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, nicht geätzt. (3) In dem Trennverfahren wird die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, geätzt.

**[0077]** Demgemäß erreicht in dem Grabenausbildungsverfahren der Boden des Grabens **14**, der die verhältnismäßig weite Breite aufweist, zuerst die eingebettete Oxidschicht **13**. Dann wird das Ätzen fortgesetzt, um den Graben **14** auszubilden, der die schmale Breite aufweist. In diesem Fall wird die Innenwand des Grabens, der die verhältnismäßig weite Breite aufweist, nicht in der horizontalen Richtung geätzt. Demgemäß können alle der Gräben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** ohne ein Ausbilden der Kerbe **110** erreichen. Daher kann der Graben, der eine unterschiedliche Grabenbreite und eine unterschiedliche Ätzgeschwindigkeit aufweist, eine vorbestimmte Form ohne ein Ausbilden der Kerbe **110** auf seiner Innenwand aufweisen.

**[0078]** Danach wird in dem Trennverfahren die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, geätzt, das heißt die Kerbe **110** wird auf der Innenwand des Grabens **14** derart ausgebildet, dass der bewegliche Abschnitt **20** durch Trennen der zweiten Halbleiterschicht **12** von der eingebetteten Oxidschicht **13** ausgebildet wird. Hierbei wird damit begonnen, nachdem weitestgehend alle der Gräben **14**, die eine unterschiedliche Grabenbreite und eine unterschiedliche Ätzgeschwindigkeit aufweisen die eingebettete Oxidschicht **13** erreichen, dass das Ätzen des Trennverfahrens, durchgeführt wird. Deshalb wird die Kerbe **110** auf den Innenwänden von weitestgehend allen der Gräben **14** zu der gleichen Zeit ausgebildet. Daher wird das Anfangen eines Ausbildens der Kerbe **110** auf jeder Innenwand abgeglichen. Daher kann der Spalt G zwischen dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** abgeglichen werden, nachdem das Trennverfahren beendet ist. Daher wird auch dann, wenn die Breite des Grabens **14** unterschiedlich ist, jeder Spalt G zwischen dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** abgeglichen. Jeder Spalt G ist in einem Bereich angeordnet, in dem alle der beweglichen Abschnitte angeordnet sind.

**[0079]** Weiterhin wird, nachdem die eingebettete Oxidschicht **13** von allen der Öffnungen der Maske **100** in dem Halbleiterwafer freiliegt, das Grabenätzverfahren zu dem Trennverfahren geschaltet. Deshalb wird das Anfangen des Ätzens des Trennverfahrens in dem Wafer abgeglichen. Daher können auch dann, wenn die Ätzgeschwindigkeit des Grabens **14** unterschiedlich ist, alle der Gräben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** ohne ein Ausbilden der Kerbe

**110** erreichen. Demgemäß werden alle der Gräben **14** ausgebildet, um eine vorbestimmte Form aufzuweisen. Weiterhin ist jeder Spalt G zwischen dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** abgeglichen. Der Spalt G ist auf dem ganzen Bereich des Halbleiterwafers angeordnet.

**[0080]** Weiterhin kann, nachdem die eingebettete Oxidschicht **13** von einem Teil der Öffnungen der Maske **100** freiliegt, wobei der Teil der (Öffnungen) den beweglichen Abschnitt definiert, das Grabenausbildungsverfahren zu dem Trennverfahren geschaltet werden. Das heißt, nachdem die Böden eines Teils der Gräben **14**, die den beweglichen Abschnitt **20** definieren, die eingebettete Oxidschicht **13** erreichen, kann das Grabenausbildungsverfahren zu dem Trennverfahren geschaltet werden. In diesem Fall kann der Spalt G zwischen dem beweglichen Abschnitt und der eingebetteten Oxidschicht **13** abgeglichen werden.

**[0081]** Das Grabenausbildungsverfahren und das Trennverfahren werden durch das reaktive Ionenätzverfahren durchgeführt. In dem Grabenausbildungsverfahren wird das Ätzen derart durchgeführt, dass verhindert wird, dass die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13**, die auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist positiv geladen wird. Deshalb wird die Innenwand des Grabens **14** in der Nähe des Bodens des Grabens **14** nicht geätzt. In dem Trennverfahren wird das Ätzen derart durchgeführt, dass die Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13**, die auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist, positiv geladen wird. Deshalb wird die Innenwand des Grabens **14** in der Nähe des Bodens des Grabens **14** derart geätzt, dass die Kerbe **110** ausgebildet wird. Diese Ätzbedingungen werden durch Schalten der ersten und zweiten HF-Energieversorgungen **203**, **204** gesteuert.

**[0082]** In dem Grabenausbildungsverfahren erzeugt die erste HF-Energieversorgung **203** ein niederfrequentes elektrisches Feld, das eine niedrige Frequenz aufweist, die in einem Bereich angeordnet ist, in welchem das positive Ion in dem Plasma im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen. Weiterhin erzeugt die erste HF-Energieversorgung **203** das pulsartige elektrische Feld. Daher wird in dem Grabenausbildungsverfahren verhindert, dass sich die eingebettete Oxidschicht **13**, die auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist, positiv lädt. In dem Trennverfahren erzeugt die zweite HF-Energieversorgung **204** ein hochfrequentes elektrisches Feld, das eine hohe Frequenz aufweist, die in einem Bereich angeordnet ist, in welchem das positive Ion in dem Plasma nicht im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen. Daher wird in dem Trennverfahren die eingebettete Oxidschicht **13**, die

auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist, positiv geladen.

**[0083]** Obgleich die niedrige Frequenz auf 380 kHz festgelegt ist und die hohe Frequenz auf 13,56 MHz festgelegt ist, können die niedrigen und hohen Frequenzen auf andere Frequenzen festgelegt sein. Der Bereich der niedrigen Frequenz, in welchem das positive Ion in dem Plasma im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen, ist gleich oder niedriger als 600 kHz. Der Bereich der hohen Frequenz, in welchem das positive Ion in dem Plasma nicht im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen, ist gleich oder höher als 600 kHz.

**[0084]** Die reaktive Ionenätzausstattung beinhaltet zwei HF-Energieversorgungen **203**, **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds, so dass diese durch die Schalter **203a**, **204a** geschaltet werden. Deshalb können das Grabenausbildungsverfahren und das Trennverfahren aufeinanderfolgend ohne Entfernen des Substrats **10**, das heißt des Wafers, von der Kammer **200**, durchgeführt werden. Die Ausstattung kann zwei Kammern aufweisen. Eine ist die erste Kammer, die die HF-Energieversorgung **202** zum Erzeugen des Plasmas und die erste HF-Energieversorgung **203** zum Anlegen des niederfrequenten elektrischen Vorfelds in dem Grabenausbildungsverfahren aufweist. Die andere ist die zweite Kammer, die die HF-Energieversorgung **202** zum Erzeugen des Plasmas und die zweite HF-Energieversorgung **204** zum Anlegen des hochfrequenten elektrischen Vorfelds in dem Trennverfahren aufweist. In diesem Fall wird das Substrat **10** von der ersten Kammer zu der zweiten Kammer befördert, nachdem das Grabenausbildungsverfahren beendet ist, so dass das Trennverfahren anfängt.

**[0085]** Jedes des Grabenausbildungsverfahrens und des Trennverfahrens kann eine jeweilige individuelle Ätzbedingung aufweisen. Zum Beispiel sind die Ätzbedingung eine HF-Energie zum Erzeugen von Plasma, eine andere HF-Energie zum Anlegen des elektrischen Vorfelds, eine Gasflussgeschwindigkeit, ein Zeitverhältnis zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt des Schutzfilms, eine Beschleunigungsspannung des Ätzions, ein Verhältnis zwischen einer Menge einer Abscheidung des Schutzfilms pro einem Zyklus und eine Menge eines Ätzens pro einem Zyklus und dergleichen. Diese Parameter der Ätzbedingung werden in jedem Verfahren optimiert. Zum Beispiel kann die Ätzbedingung zum Ausbilden des Grabens **14**, die eine vertikale Seitenwand aufweist, in dem Grabenausbildungsverfahren nicht mit der Ätzbedingung zum Ausbilden des beweglichen Abschnitts **20**, der den optimalen Spalt zwischen dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** aufweist, übereinstimmen. Wenn die Ätzbedingungen des Grabenausbildungsverfahrens und des Trennverfahrens

die gleichen sind, kann der Spalt nicht optimiert werden oder kann der Querschnitt des Grabens **14** eine konische Form aufweisen. Deshalb werden die Ätzbedingungen des Grabenausbildungsverfahrens und des Trennverfahrens derart individuell gesteuert, dass der Graben **14** die vertikale Seitenwand aufweist und der Spalt optimiert ist.

**[0086]** Obgleich der Sensor S1 ein Beschleunigungssensor ist, kann der Sensor S1 ein anderer Sensor sein, der einen beweglichen Abschnitt aufweist, wie zum Beispiel ein Halbleiterykosensor, ein Halbleiterdrucksensor, ein Halbleitergassensor, ein Halbleitergasflusssensor, ein Infrarotlichtsensor oder ein Halbleiterfeuchtigkeitssensor.

**[0087]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung.

**[0088]** In dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Laden der eingebetteten Oxidschicht **13** derart gesteuert, dass die Frequenz und der Oszillationszustand der HF-Energieversorgung **202** zum Erzeugen des Plasma und der HF-Energieversorgungen **203**, **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds gesteuert werden.

**[0089]** Hierbei ist ein Verfahren zum Steuern des Kerbeffekts in der japanischen Patentoffenlegungsschrift JP H08-181125 A offenbart. In diesem Verfahren wird ein Mikrowelle derart in eine Vakuumkammer eingebracht, dass ein reaktives Gas in einen Plasmazustand übergeht. Das Plasma in der Kammer wird durch ein magnetisches Feld stabilisiert, das von einer Spule erzeugt wird, die um die Kammer angeordnet ist. In diesem Fall wird die Mikrowelle zu einer pulsartigen Mikrowelle moduliert, so dass das Plasma, das ein positives Ion und ein negatives Ion eines Ätzgases aufweist, erzeugt wird. Eine HF-Energieversorgung zum Anlegen eines elektrischen Vorfelds legt das elektrische Vorfeld als ein elektrisches Substratvorfeld an ein Substrat an. Hierbei weist das elektrische Vorfeld eine Frequenz in einem Bereich auf, in dem die positiven und negativen Ionen im Stande sind, dem elektrischen Feld zu folgen. Zum Beispiel ist die Frequenz des elektrischen Vorfelds gleich oder niedriger als 600 kHz. In diesem Fall wird das Laden einer eingebetteten Oxidschicht unterdrückt.

**[0090]** Im Hinblick auf die vorhergehende Erkenntnis ist eine reaktive Ionenätzausstattung zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung in **Fig. 5** gezeigt. Die Ausstattung weist eine Spule **205** auf, die um die Kammer **200** angeordnet ist. Die Spule **205** erzeugt ein magnetisches Feld zum stabilen Einschließen (das heißt Einfangen) des Plasmas in der Kammer **200**. Die Ausstattung weist weiterhin eine HF-Energieversorgung **206** zum Erzeugen von Plasma als

ein Mikrowellengenerator auf. Die HF-Energieversorgung **206** weist eine Pulserzeugungsschaltung **207** auf. Eine Wellenleiterröhre **208** ist zwischen der HF-Energieversorgung **206** und der Kammer **200** angeordnet. Die Wellenleiterröhre **208** bringt die Mikrowelle in die Kammer **200** ein.

**[0091]** Die HF-Energieversorgung **206** erzeugt kontinuierlich ein elektrisches HF-Feld, das eine Frequenz von ungefähr einigen wenigen GHz aufweist. Weiterhin erzeugt die HF-Energieversorgung **206** unter Verwendung der Pulserzeugungsschaltung **207** ein pulsartiges elektrisches HF-Feld. In diesem Ausführungsbeispiel wird das pulsartige elektrische Feld in dem Grabenausbildungsverfahren erzeugt und wird das kontinuierliche elektrische Feld in dem Trennverfahren erzeugt. Daher kann der Oszillationszustand umgeschaltet werden. Die Ausstattung beinhaltet weiterhin die ersten und zweiten HF-Energieversorgungen **203**, **204** zum Anlegen des elektrischen Vorfelds an das Substrat **10**. Die erste HF-Energieversorgung **203** erzeugt ein pulsartiges elektrisches Vorfeld, das eine Frequenz von 400 kHz aufweist, und wird in dem Grabenausbildungsverfahren verwendet. Die zweite HF-Energieversorgung **204** erzeugt ein kontinuierliches elektrisches Vorfeld, das eine Frequenz von 13,56 MHz aufweist, und wird in dem Trennverfahren verwendet. Diese zwei HF-Energieversorgungen **203**, **204** werden durch Ein- und Ausschalten der Schalter **203a**, **204a** geschaltet.

**[0092]** Ein Verfahren zum Herstellen des Sensors S2 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel wird wie folgt beschrieben. Die Maske **100** wird auf dem Substrat **10** ausgebildet, wie in **Fig. 4A** gezeigt ist. Dann wird das Substrat **10**, das heißt der Wafer, in die Halterung **201** in der Kammer **200** eingesetzt, wie in **Fig. 5** gezeigt ist. In dem Grabenausbildungsverfahren erzeugt die HF-Energieversorgung **206** zum Erzeugen von Plasma eine pulsartige Oszillation und legt die erste HF-Energieversorgung **203** ein niederfrequentes elektrisches Vorfeld an, das eine niedrige Frequenz aufweist, die in einem Bereich angeordnet ist, in welchem das positive Ion in dem Plasma im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen.

**[0093]** Genauer gesagt erzeugt die HF-Energieversorgung **206** zum Erzeugen von Plasma mit der Pulserzeugungsschaltung **207** eine pulsartige Oszillation, die eine Frequenz von einigen wenigen kHz, das heißt einen Puls von einigen wenigen Millisekunden aufweist. Der Schalter **203a** schaltet sich ein und der Schalter **204a** schaltet sich aus, so dass die erste HF-Energieversorgung **203** eine pulsartige Oszillation erzeugt, die eine Frequenz von 400 kHz aufweist. In dieser Ätzbedingung wird das Laden der eingebetteten Oxidschicht **13**, die auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist, verringert. Auch dann, wenn der Boden von einigen Gräben **14** die eingebettete Oxi-

dschicht **13** derart erreicht, dass die eingebettete Oxidschicht **13** von der zweiten Halbleiterschicht **12** freiliegt, wird verhindert, dass die freiliegende Oberfläche der eingebetteten Oxidschicht **13** positiv geladen wird. Daher wird der Kerbeffekt derart unterdrückt, dass die Innenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, nicht teilweise in einem Zustand geätzt wird, in dem das Ätzen fortgesetzt wird, nachdem der Boden der Gräben **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht hat.

**[0094]** Nachdem das Grabenausbildungsverfahren beendet ist, wird die Ätzbedingung derart geschaltet, dass das Trennverfahren durchgeführt wird. In dem Trennverfahren erzeugt die HF-Energieversorgung **206** zum Erzeugen von Plasma eine kontinuierliche Oszillation und legt die zweite HF-Energieversorgung **204** ein hochfrequentes elektrisches Vorfeld an, das eine hohe Frequenz aufweist, die in einem Bereich angeordnet ist, in welchem das positive Ion in dem Plasma nicht im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen.

**[0095]** Genauer gesagt erzeugt die HF-Energieversorgung **206** zum Erzeugen von Plasma ohne ein Modulieren der Mikrowelle durch die Pulserzeugungsschaltung **207** eine kontinuierliche Oszillation, die eine Frequenz von einigen wenigen GHz aufweist. Der Schalter **203a** schaltet sich aus und der Schalter **204a** schaltet sich ein, so dass die zweite HF-Energieversorgung **204** eine kontinuierliche Oszillation erzeugt, die eine Frequenz von 13,56 MHz aufweist. In dieser Ätzbedingung wird die eingebettete Oxidschicht **13**, die auf dem Boden des Grabens **14** angeordnet ist, positiv geladen. Daher wird die Seitenwand des Grabens **14**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, lokal geätzt. Demgemäß wird die Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. Die Kerbe **14** wird größer, wenn das Ätzen fortschreitet. Dann wird eine Kerbe **110** auf der Innenwand von einem Graben **14** mit einer anderen Kerbe **110** auf der anderen Innenwand der anderen Kerbe **14** verbunden, welche dem einen Graben **14** gegenüberliegt. Die benachbarten zwei Gräben **14** werden derart miteinander verbunden, dass die zweite Halbleiterschicht **12** als der bewegliche Abschnitt **20** von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt wird. Daher wird der Sensor S1 fertiggestellt, der den abgeglichenen Spalt zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und der eingebetteten Oxidschicht **13** aufweist.

**[0096]** Obgleich die niedrige Frequenz auf 400 kHz festgelegt ist und die hohe Frequenz auf 13,56 MHz festgelegt ist, können die niedrigen und hohen Frequenzen auf andere Frequenzen festgelegt sein. Der Bereich der niedrigen Frequenz, in welchem das positive Ion in dem Plasma im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen, ist gleich oder niedriger als 600 kHz. Der Bereich der hohen Frequenz,

in welchem das positive Ion in dem Plasma nicht im Stande ist, der Oszillation des elektrischen Felds zu folgen, ist gleich oder höher als 600 kHz.

**[0097]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines dritten Ausführungsbeispiels der Erfindung.

**[0098]** Ein Verfahren zum Herstellen des Sensors S1 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird wie folgt beschrieben. Die Ätzbedingung in dem Grabenausbildungsverfahren des Verfahrens ist derart, dass ein Verhältnis der Menge eines Ätzens der zweiten Halbleiterschicht **12** und die Menge eines Abscheidens des Schutzfilms in einem Zyklus des Ätzschritts und des Abscheidungsschritts des Schutzfilms gesteuert wird.

**[0099]** Eine reaktive Ionenätzausstattung zum Ausbilden eines beweglichen Abschnitts gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel ist die Ausstattung, die in **Fig. 5** gezeigt ist, ohne die erste HF-Energieversorgung **203**. Das heißt, die Ausstattung beinhaltet lediglich einen Typ der zweiten HF-Energieversorgung **204** zum Anlegen des hochfrequenten elektrischen Vorfelds. **Fig. 6A** erläutert das Grabenausbildungsverfahren in dem Verfahren, das in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** gezeigt ist. **Fig. 6B** erläutert das Grabenausbildungsverfahren in dem Verfahren gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel.

**[0100]** In dem reaktiven Ionenätzverfahren werden der Ätzschritt zum Ätzen des Substrats **10** und der Schutzfilmabscheidungsschritt zum Abscheiden des Schutzfilms **50** auf dem Substrat **10** abwechselnd durchgeführt. In dem Ätzschritt ätzt das Ätzgas, wie zum Beispiel das SF<sub>6</sub>-Gas, in dem Plasmazustand die zweite Halbleiterschicht **12**. In dem Schutzfilmabscheidungsschritt wird der Schutzfilm **50** auf der Innenwand des Grabens **14** unter Verwendung des Abscheidungsgases, wie zum Beispiel des C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gases, in dem Plasmazustand abgeschieden. Der Schutzfilm **50** schützt die Innenwand des Grabens **14** davor, geätzt zu werden. Daher wird der Schutzfilm **50** auf der Innenwand des Grabens **14** abgeschieden und wird dann der Boden des Grabens **14** in der Tiefenrichtung geätzt. Diese Schritte werden während des reaktiven Ionenätzverfahrens wiederholt.

**[0101]** Hierbei wird in dem Verfahren, das in **Fig. 6A** gezeigt ist, die Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. Genauer gesagt wird in einem Fall, in dem das Ätzen fortgesetzt wird, nachdem der Boden des Grabens **14** die eingebettete Oxidschicht **13** erreicht hat, die Innenwand des Grabens **14** in der Nähe des Bodens des Grabens **14** lokal in der horizontalen Richtung geätzt. Daher entsteht durch das Überätzen die Kerbe **110**.

**[0102]** Im Hinblick auf das vorhergehende Problem wird das Verfahren gemäß dem dritten Ausführungs-

beispiel wie folgt beschrieben. In dem Grabenausbildungsverfahren ist die Menge einer Abscheidung des Schutzfilms **50** vergleichsweise und relativ größer als die Menge eines Ätzens der zweiten Halbleiterschicht **12** in einem Zyklus des Ätzschritts und des Abscheidungsschritts des Schutzfilms **50** verglichen mit dem Trennverfahren. Hierbei besteht der Schutzfilm **50** aus zum Beispiel einem Fluoridpolymer.

**[0103]** Genauer gesagt ist die Menge des Ätzens der zweiten Halbleiterschicht **12** pro einem Zyklus in dem Ätzschritt als  $W1$  definiert und ist die Menge des Abscheidens des Schutzfilms **50** pro einem Zyklus in dem Abscheidungsschritt als  $W2$  definiert. Das Verhältnis zwischen der Menge des Ätzens und der Menge des Abscheidens wird durch  $W2/W1$  erzielt. Zum Beispiel ist die Menge  $W1$  des Ätzens pro einem Zyklus in beiden Schritten als  $0,2 \mu\text{m}/\text{Zyklus}$  festgelegt. Die Menge  $W2$  des Abscheidens pro einem Zyklus in dem Abscheidungsschritt in dem Trennverfahren ist als  $10 \text{ nm}/\text{Zyklus}$  festgelegt, so dass das Verhältnis zwischen  $W2$  und  $W1$   $0,05$  ist. Die Menge  $W2$  der Abscheidung pro einem Zyklus in dem Abscheidungsschritt in dem Grabenausbildungsverfahren ist als  $20 \text{ nm}/\text{Zyklus}$  festgelegt, so dass das Verhältnis  $W2/W1$  zwischen  $W2$  und  $W1$   $0,10$  ist.

**[0104]** Hierbei wird das Verhältnis zwischen der Menge des Ätzens und der Menge des Abscheidens durch ein Verhältnis einer Laufzeit zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt gesteuert. Weiterhin kann das Verhältnis durch eine elektrische HF-Feldenergie zum Erzeugen von Plasma, eine elektrische HF-Feldenergie zum Anlegen des elektrischen Vorfelds, eine Flussgeschwindigkeit des reaktiven Gases oder den Druck der Kammer **200** in jedem Schritt gesteuert werden. Daher wird, wie in **Fig. 6B** gezeigt ist, der Schutzfilm **50**, der eine verhältnismäßig dicke Dicke aufweist, auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. Deshalb wird die Seitenwand des Grabens **14** vor dem Ätzion geschützt, das zu der Seitenwand des Grabens **14** fließt, so dass verhindert wird, dass die Kerbe **110** ausgebildet wird.

**[0105]** Andererseits ist der Schutzfilm **50**, der in dem Abscheidungsschritt in dem Trennverfahren ausgebildet wird, dünner als der in dem Grabenausbildungsverfahren. Weiterhin ist die Menge des Abscheidens verhältnismäßig klein, so dass die Seitenwand des Grabens **14** einfach geätzt wird. Daher wird die Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. Demgemäß wird der bewegliche Abschnitt **20** von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt.

**[0106]** Daher ist das Verhältnis  $W2/W1$  in dem Trennverfahren kleiner als das Verhältnis  $W2/W1$  in dem Grabenausbildungsverfahren, so dass der Schutzfilm **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, dicker als der in dem Grabenausbil-

dungsverfahren ist. Daher wird der Schutzfilm **50** in dem Trennverfahren einfacher geätzt als der in dem Grabenausbildungsverfahren. Demgemäß wird in dem Grabenausbildungsverfahren die Seitenwand des Grabens **14** nicht geätzt und wird in dem Trennverfahren die Seitenwand des Grabens **14** derart geätzt, dass der bewegliche Abschnitt **20** von der eingebetteten Oxidschicht **13** getrennt wird.

**[0107]** Das Verhältnis  $W2/W1$  in beiden des Grabenausbildungsverfahrens und des Trennverfahrens wird wie folgt gesteuert. Die Laufzeit des Ätzschritts in dem Grabenausbildungsverfahren ist als  $TA1$  definiert, die Laufzeit des Abscheidungsschritts in dem Grabenausbildungsverfahren ist als  $TA2$  definiert und das Verhältnis der Laufzeiten zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt ist als  $TA1/TA2$  definiert. Die Laufzeit des Ätzschritts in dem Trennverfahren ist als  $TB1$  definiert, die Laufzeit des Abscheidungsschritts in dem Trennverfahren ist als  $TB2$  definiert und das Verhältnis der Laufzeiten zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt ist als  $TB1/TB2$  definiert. Die Ätzbedingung wird derart zwischen dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren geschaltet, dass das Verhältnis der Laufzeiten von  $TA1/TA2$  kleiner als das Verhältnis der Laufzeiten von  $TB1/TB2$  wird. In diesem Fall ist die Laufzeit des Abscheidungsschritts in dem Trennverfahren kürzer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. Das heißt, die Verfahrenszeit zum Abscheiden des Schutzfilms **50** in dem Trennverfahren ist kürzer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. Demgemäß ist der Schutzfilm **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, dünner als der in dem Grabenausbildungsverfahren. Daher ist das Verhältnis von  $W2/W1$  in dem Trennverfahren kleiner als das in dem Grabenausbildungsverfahren. Weiterhin kann das Verhältnis  $W2/W1$  durch die elektrische Vorfeldenergie gesteuert werden. Genauer gesagt wird die elektrische Vorfeldenergie in dem Ätzschritt in dem Grabenausbildungsverfahren derart festgelegt, dass sie kleiner als die in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren ist. In diesem Fall ist das Verhältnis von  $W2/W1$  in dem Trennverfahren kleiner als das in dem Grabenausbildungsverfahren. Weiterhin kann das Verhältnis  $W2/W1$  durch die Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases gesteuert werden. Genauer gesagt wird die Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases in dem Ätzschritt in dem Grabenausbildungsverfahren derart festgelegt, dass sie kleiner als in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren ist. In diesem Fall ist das Verhältnis von  $W2/W1$  in dem Trennverfahren kleiner als das in dem Grabenausbildungsverfahren. Weiterhin kann das Verhältnis  $W2/W1$  durch die Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases gesteuert werden. Genauer gesagt wird die Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases in dem Abscheidungsschritt in dem Grabenausbildungsverfahren derart festgelegt, dass sie größer als die in dem Abscheidungsschritt in dem Trennverfahren ist.

In diesem Fall ist das Verhältnis von W2/W1 in dem Trennverfahren kleiner als das in dem Grabenausbildungsverfahren.

**[0108]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines vierten Ausführungsbeispiels der Erfindung.

**[0109]** Die Erfinder haben einleitend einen nadelähnlichen Vorsprung untersucht. Eine Halbleitervorrichtung S2, die aus einem SOI- bzw. Silizium-auf-Isolator-Substrat **10** ausgebildet ist, das die Isolationsschicht **13**, die innerhalb von diesem angeordnet ist, und die Halbleiterschicht **12** aufweist, die auf der Oberfläche des SOI-Substrats **10** angeordnet ist, ist in **Fig. 16** gezeigt.

**[0110]** Das SOI-Substrat **10** wird in dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren derart verarbeitet, dass die Vorrichtung S2 fertiggestellt wird, die den beweglichen Abschnitt **20** aufweist. Die **Fig. 17A** bis **Fig. 17E** erläutern das Grabenausbildungsverfahren und die **Fig. 18A** und **Fig. 18B** erläutern das Trennverfahren.

**[0111]** In dem Grabenausbildungsverfahren werden der Ätzschritt zum Ätzen der Halbleiterschicht **12** durch das Plasma des Ätzgases und der Abscheidungsschritt zum Abscheiden des Schutzfilms **50** auf der Innenwand des Grabens **14** durch das Plasma des Abscheidungsgases abwechselnd und wiederholt durchgeführt.

**[0112]** Zuerst zeigt **Fig. 17A** den ersten Zyklus des Ätzschritts. Das Substrat **10** ist in die Kammer **200** eingesetzt. Das SF<sub>6</sub>-Gas als ein Ätzgas zum Ätzen von Silizium wird in die Kammer **200** während einer vorbestimmten Zeit, wie zum Beispiel 7 Sekunden, eingebracht. Daher wird die Halbleiterschicht **12** derart teilweise geätzt, dass ein Teil des Grabens **14** ausgebildet wird. In diesem Fall wird das SF<sub>6</sub>-Gas ein Plasmazustand in dem elektrischen Feld in der Kammer **200**, so dass das SF<sub>6</sub>-Gas zu dem Ätzen beiträgt. In **Fig. 17A** ist das SF<sub>6</sub>-Gas als ein positives Ion gezeigt. Das elektrische Vorfeld wird derart an das Substrat **10** angelegt, dass das positive Ion in dem Plasma zu dem Substrat **10** hingezogen wird. Daher wird der Graben **14** durch ein anisotropes Ätzen mit dem positiven Ion, wie zum Beispiel einem SF<sub>6</sub><sup>+</sup>-Ion oder einem SF<sub>5</sub><sup>+</sup>-Ion geätzt.

**[0113]** Als Nächstes wird, wie in **Fig. 17B** gezeigt ist, der Abscheidungsschritt durchgeführt. Genauer gesagt wird gestoppt, dass das SF<sub>6</sub>-Gas als das Ätzgas in die Kammer **200** eingebracht wird. Anstatt dessen wird das C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gas als das Abscheidungsgas in die Kammer **200** während einer vorbestimmten Zeit, wie zum Beispiel 8 Sekunden, eingebracht. In dem Abscheidungsschritt wird kein elektrisches Vorfeld an das Substrat **10** angelegt. Daher wird der Schutzfilm **50** gleichmäßig auf der Seitenwand und der Innen-

wand des Grabens **14** ausgebildet. Wenn das Fluoridgas, wie zum Beispiel das C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gas, als das Abscheidungsgas verwendet wird, besteht der Schutzfilm **50** aus einem Fluoridpolymer.

**[0114]** Dann werden, wie in den **Fig. 17C** und **Fig. 17D** gezeigt ist, der Ätzschritt und der Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt. Hierbei beträgt zum Beispiel die Äztiefe des Ätzschritts pro einem Zyklus 0,1 µm bis 0,5 µm. Daher erreicht der Graben **14** die Oberfläche der Isolationsschicht **13**.

**[0115]** Als Nächstes wird das Trennverfahren durchgeführt, wie in den **Fig. 18A** und **Fig. 18B** gezeigt ist. In dem Trennverfahren werden der Ätzschritt zum Ätzen der Halbleiterschicht **12** durch das Plasma des Ätzgases und der Abscheidungsschritt zum Abscheiden des Schutzfilms **50** auf der Innenwand des Grabens durch das Plasma des Abscheidungsgases abwechselnd und wiederholt durchgeführt. Wie in **Fig. 18A** gezeigt ist, wird die Oberfläche der Isolationsschicht **13** durch das positive Ion in dem Ätzgas positiv geladen. In dem Ätzschritt des Trennverfahrens wird das positive Ion des Ätzgases zu dem Graben **14** hin eingebracht. In diesem Fall wird das positive Ion, wie in **Fig. 18B** gezeigt ist, durch die Isolationsschicht, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** positiv geladen wird, abgestoßen. Daher wird das positive Ion in der horizontalen Richtung derart verteilt, dass die Seitenwand des Grabens, das heißt die Halbleiterschicht **12**, die in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, in der horizontalen Richtung geätzt wird. Demgemäß wird die Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet.

**[0116]** Hierbei ätzt das positive Ion des Ätzgases die Halbleiterschicht **12** und den Schutzfilm **50** durch chemisches Ätzen oder physikalisches Zerstäuben. Daher wird die Kerbe **110** derart größer, dass die Halbleiterschicht **12** von der Isolationsschicht **13** getrennt wird. Schließlich wird der bewegliche Abschnitt **20** ausgebildet.

**[0117]** Hierbei kann in dem Trennverfahren ein nadelähnlicher Vorsprung wie folgt ausgebildet werden. Die **Fig. 19A** bis **Fig. 19C** erläutern das Ätzen in dem Trennverfahren. Das Ätzgas ätzt die Halbleiterschicht **12** mit einem Entfernen des Schutzfilms **50** derart, dass die Kerbe **110** ausgebildet wird. Wenn der Schutzfilm **50** stark, das heißt dick, ist, bleibt ein Teil des Schutzfilms **50** zurück, wie in **Fig. 19B** gezeigt ist. Daher wird die Halbleiterschicht **12** mit dem Teil des Schutzfilms **50** geätzt. In diesem Fall dient der Schutzfilm **50**, der auf der Seitenwand des Grabens **14** zurückbleibt, derart als ein Maske, dass ein nadelähnlicher Vorsprung K auf der Innenwand des Grabens **14** ausgebildet wird, wie in **Fig. 19C** gezeigt ist. Genauer gesagt wird der Vorsprung K auf der Innenwand der Kerbe **110** angeordnet, welche der Iso-

lationsschicht **13** gegenüberliegt. Der Vorsprung **K** der Kerbe **110** kann gebrochen werden, wenn ein großer Stoß derart auf den Vorsprung **K** ausgeübt wird, dass der Vorsprung **K** die Isolationsschicht **13** zerbricht. Der gebrochene Vorsprung **K** kann einen Partikel verursachen und der Partikel kann ein Problem verursachen.

**[0118]** Im Hinblick auf das vorhergehende Problem wird ein Verfahren zum Herstellen eines Sensors **S3** gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung wie folgt beschrieben. **Fig. 8** zeigt eine schematische Querschnittsansicht, die den Sensor **S3** zeigt. Der Sensor **S3** ist aus dem SOI-Substrat **10** ausgebildet, das die erste und zweite Siliziumschicht **11**, **12** und die Siliziumoxidschicht **13** aufweist, die zwischen der ersten und zweiten Siliziumschicht **11**, **12** angeordnet ist. Der bewegliche Abschnitt **20** ist durch einen Teil der zweiten Siliziumschicht **12** vorgesehen, welcher von der Siliziumoxidschicht **13** getrennt ist. Das heißt, der bewegliche Abschnitt **20** wird von dem Graben **14** derart umgeben, dass der bewegliche Abschnitt **20** von der anderen Siliziumschicht **12** getrennt ist, die um den beweglichen Abschnitt **20** angeordnet ist. Weiterhin ist ein Raum derart unter dem beweglichen Abschnitt **20** angeordnet, dass ein Hohlabschnitt ausgebildet wird.

**[0119]** Die **Fig. 9**, **Fig. 10A** und **Fig. 10B** zeigen eine Haltekonstruktion zum Halten des beweglichen Abschnitts **20**. Der bewegliche Abschnitt **20** ist mit einem Anker **23c** verbunden. Der Anker **23c** wird durch die Siliziumoxidschicht **13** auf der ersten Siliziumschicht **11** gehalten. Daher wird der bewegliche Abschnitt **20** durch den Anker **23c** derart ausgelegt, dass der bewegliche Abschnitt **20** beweglich ist. Die Beschleunigung, die auf den Sensor **S3** ausgeübt wird, wird unter Verwendung des beweglichen Abschnitts **20** erfasst. Dieser Erfassungsmechanismus kann der Gleiche wie bei einem herkömmlichen kapazitiven Beschleunigungssensor sein. Genauer gesagt wird, wenn die Beschleunigung auf den Sensor **S3** ausgeübt wird, der bewegliche Abschnitt **20** derart in eine vorbestimmte Richtung verschoben oder deformiert, dass ein Abstand zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und einem festen Abschnitt geändert wird. Der bewegliche Abschnitt **20** ist durch den Graben **14** von dem festen Abschnitt getrennt. Die Änderung des Abstands bewirkt eine Kapazitätsänderung eines Kondensators zwischen dem beweglichen Abschnitt **20** und dem festen Abschnitt, so dass eine Beschleunigung erfasst wird.

**[0120]** Eine Elektrodenanschlussfläche **417** ist auf der zweiten Siliziumschicht **12** an einer vorbestimmten Position ausgebildet. Die Elektrodenanschlussfläche **417** besteht aus Aluminium oder dergleichen. Die Elektrodenanschlussfläche **417** ist mit einer externen Schaltung verbunden. Die Elektrodenanschlussfläche **417** beinhaltet die bewegliche Elektroden-

anschlussfläche **20a** und die feste Elektrodenanschlussfläche **31a**, **41a**.

**[0121]** Der Sensor **S3** wird wie folgt hergestellt. Wie in den **Fig. 11A** bis **Fig. 11E** gezeigt ist, wird die Anschlussfläche **417** auf der Oberfläche der zweiten Siliziumschicht **12** unter Verwendung eines Filmabscheidungsverfahrens, wie zum Beispiel eines Zerstäubungsverfahrens und eines Abscheidungsverfahrens, und unter Verwendung eines Fotolithografieverfahrens ausgebildet. Als Nächstes wird die Maske, die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der zweiten Siliziumschicht **12** ausgebildet. Dies ist ein Maskenausgebildungsverfahren. Die Maske **100** beinhaltet eine Öffnung, die dem Graben **14** entspricht. Dann wird der Graben **14** auf der zweiten Siliziumschicht **12** ausgebildet. Dies ist das Grabenausgebildungsverfahren. Das Verfahren wird durch das reaktive Ionenätzverfahren vorgesehen, das den Ätzschritt und den Abscheidungsschritt aufweist, die in den **Fig. 11A** bis **Fig. 11E** gezeigt sind. Genauer gesagt werden der Ätzschritt zum Ätzen der zweiten Siliziumschicht **12** und der Abscheidungsschritt zum Abscheiden des Schutzfilms **50** abwechselnd und wiederholt durchgeführt. Diese Schritte werden durch drei Zyklen und mehr wiederholt. Daher wird der Graben **14** ausgebildet, um die Siliziumoxidschicht **13** zu erreichen und den Schutzfilm **50** aufzuweisen, der auf der Innenwand des Grabens **14** angeordnet ist. Dann wird das Trennverfahren derart durchgeführt, dass der bewegliche Abschnitt **20** ausgebildet wird, wie in den **Fig. 11D** und **Fig. 11E** gezeigt ist. Dann wird die Maske **100** durch ein Trockenätzverfahren, wie zum Beispiel ein Sauerstoffveraschungsverfahren und dergleichen, entfernt. Daher ist der Sensor **S3** fertiggestellt.

**[0122]** In dem vorhergehenden Verfahren weist der Schutzfilm **50**, der in dem Grabenausgebildungsverfahren ausgebildet wird, einen starken Schutzeffekt auf, welcher stärker als der in dem Trennverfahren ist. Um diesen Aufbau durchzuführen, werden die Ätzbedingungen in dem Grabenausgebildungsverfahren und dem Trennverfahren gesteuert.

**[0123]** Der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** wird durch eine Zeit gesteuert. Genauer gesagt wird ein Verhältnis einer Laufzeit zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt gesteuert, um den Schutzeffekt zu steuern. Die Laufzeit des Ätzschritts in dem Grabenausgebildungsverfahren ist als **TA1** definiert, die Laufzeit des Abscheidungsschritts in dem Grabenausgebildungsverfahren ist als **TA2** definiert und das Verhältnis der Laufzeiten zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt ist als **TA1/TA2** definiert. Die Laufzeit des Ätzschritts in dem Trennverfahren ist als **TB1** definiert, die Laufzeit des Abscheidungsschritts in dem Trennverfahren ist als **TB2** definiert und das Verhältnis der Laufzeiten zwischen dem Ätzschritt und dem Abscheidungsschritt ist als **TB1/**

TB2 definiert. Die Ätzbedingungen in dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren werden derart gesteuert, dass das Zeitverhältnis TA1/TA2 kleiner als das Zeitverhältnis TB1/TB2 wird. Zum Beispiel wird die Laufzeit von TA1 in dem Grabenausbildungsverfahren auf 7 Sekunden festgelegt und wird die Laufzeit von TA2 in dem Grabenausbildungsverfahren auf 5 Sekunden festgelegt, so dass das Zeitverhältnis von TA1/TA2 1,4 wird. Andererseits wird die Laufzeit von TB1 in dem Trennverfahren auf 7 Sekunden festgelegt und wird die Laufzeit von TB2 in dem Trennverfahren auf 4 Sekunden festgelegt, so dass das Zeitverhältnis von TB1/TB2 1,75 wird, welches größer als das Zeitverhältnis von TA1/TA2 ist.

**[0124]** In diesem Fall wird die Laufzeit des Abscheidungs-schritts in dem Trennverfahren kürzer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. Das heißt, die Abscheidungszeit zum Abscheiden des Schutzfilms **50** in dem Trennverfahren ist kürzer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. Deshalb ist der Schutzfilm **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, dünner als der in dem Grabenausbildungsverfahren. Daher ist durch Steuern der Zeitverhältnisse von TA1/TA2 und TB1/TB2 der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Grabenausbildungsverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise stärker als der in dem Trennverfahren.

**[0125]** Der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** kann durch das elektrische Vorfeld (das heißt die Energie des elektrischen Vorfelds zum Anlegen an das Substrat **10**) gesteuert werden. Genauer gesagt wird das elektrische Vorfeld in den Ätzschritt optimiert, um den Schutzeffekt zu steuern. Das elektrische Vorfeld in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren ist größer als in dem Grabenausbildungsverfahren. Zum Beispiel wird die Energie des elektrischen Vorfelds zum Anlegen an das Substrat **10** in dem Ätzschritt in dem Grabenausbildungsverfahren auf 23 W festgelegt und wird die Energie des elektrischen Vorfelds zum Anlegen an das Substrat **10** in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren auf 50 W bis 70 W festgelegt. Daher wird das elektrische Vorfeld in dem Trennverfahren als größer festgelegt, so dass ein Zerstäubungseffekt des Ätzens in dem Trennverfahren größer als der in dem Grabenausbildungsverfahren ist. Dies ist so, da das Plasma des Ätzgases stark zu dem Substrat **10** hingezogen wird, so dass das positive Ion in dem Plasma die zweite Siliziumschicht **12** anisotrop ätzt, wenn das elektrische Vorfeld in dem Ätzschritt zum Ätzen der zweiten Siliziumschicht **12** an das Substrat **10** angelegt wird. Durch Steuern des elektrischen Vorfelds in dem Trennverfahren, dass dieses größer als in dem Grabenausbildungsverfahren ist, kann die Verfahrenszeit des Trennverfahrens kürzer werden. Weiterhin wird der nadelähnliche Vorsprung K auf der Innenwand der Kerbe **110** verringert. Hierbei wird, wenn das elektrische Vorfeld in dem Trennverfahren übermäßig größer wird, der Schutzfilm **50**, der auf

der Innenwand des Grabens **14** angeordnet ist, aber ebenso das Teil des Grabens **14**, der in der Nähe des Bodens des Grabens **14** angeordnet ist, geätzt. Zum Beispiel kann der Schutzfilm **50**, der in der Nähe der Oberfläche der zweiten Siliziumschicht **12** angeordnet ist, geätzt werden. Deshalb ist es bevorzugt, dass die Energie des elektrischen Vorfelds in dem Trennverfahren gleich oder kleiner als 70 W ist. Daher ist durch Steuern des elektrischen Vorfelds der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise schwächer als der in dem Grabenausbildungsverfahren.

**[0126]** Weiterhin kann der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** durch die Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases in dem Ätzschritt gesteuert werden. Genauer gesagt wird die Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases in dem Ätzschritt optimiert, um den Schutzeffekt zu steuern. Die Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren ist größer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. In diesem Fall ist die Ätzgeschwindigkeit des Schutzfilms **50** und der zweiten Siliziumschicht **12** in dem Trennverfahren größer als die in dem Grabenausbildungsverfahren. Daher ist durch Steuern der Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise schwächer als der in dem Grabenausbildungsverfahren.

**[0127]** Weiterhin kann der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** durch die Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases in dem Abscheidungsschritt gesteuert werden. Genauer gesagt wird die Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases in dem Abscheidungsschritt optimiert, um den Schutzeffekt zu steuern. Die Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases in dem Abscheidungsschritt in dem Trennverfahren ist kleiner als die in dem Grabenausbildungsverfahren. In diesem Fall ist die Abscheidungsgeschwindigkeit des Schutzfilms **50** in dem Trennverfahren kleiner als die in dem Grabenausbildungsverfahren, so dass der Schutzfilm **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, dünner als der in dem Grabenausbildungsverfahren ist. Daher wird durch Steuern der Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise schwächer als der in dem Grabenausbildungsverfahren.

**[0128]** Weiterhin kann der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** durch den Druck der Kammer **200** gesteuert werden. Genauer gesagt wird der Druck des reaktiven Gases in der Kammer **200** in dem Trennverfahren derart festgelegt, dass er niedriger als der in dem Grabenausbildungsverfahren ist. In diesem Fall wird die Plasmaenergie in dem Trennverfahren größer als der reaktive Gasdruck, das heißt der Kammerdruck in der Kammer **200** wird niedriger. Daher wird der Zer-

stäubungseffekt in dem Ätzschritt in dem Trennverfahren größer, so dass der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise schwächer als der in dem Grabenausbildungsverfahren ist.

**[0129]** Weiterhin kann der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** durch die Temperatur des Substrats **10** gesteuert werden. Genauer gesagt wird die Temperatur des Substrats **10** in dem Trennverfahren derart festgelegt, dass sie höher als in dem Grabenausbildungsverfahren ist. In diesem Fall wird der Schutzfilm **50** langsam in dem Trennverfahren abgeschieden, wenn die Temperatur des Substrats **10** höher wird. Daher wird die Dicke des Schutzfilms **50** in dem Trennverfahren dünner, so dass der Schutzeffekt des Schutzfilms **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, vergleichsweise schwächer als der in dem Grabenausbildungsverfahren ist. Daher weist das Verfahren zum Verringern des Schutzeffekts des Schutzfilms **50** in dem Trennverfahren, das zuvor beschrieben worden ist, ein Steuern des Zeitverhältnisses der Laufzeiten zwischen dem Grabenausbildungsverfahren und dem Trennverfahren, ein Steuern des elektrischen Vorfelds, ein Steuern der Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases, ein Steuern der Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases, ein Steuern des Kammerdrucks oder ein Steuern der Substrattemperatur auf. Diese Verfahren können kombiniert werden, um den Schutzeffekt zu verringern, und weiterhin können alle Verfahren gleichzeitig durchgeführt werden.

**[0130]** Daher wird die Ätzbedingung des Grabenausbildungsverfahrens zu der Ätzbedingung des Trennverfahrens geschaltet. In dem Grabenausbildungsverfahren ist der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** vergleichsweise stark, so dass der Graben einfach und genau in einer vertikalen Richtung des Substrats **10** ausgebildet wird, welches eine Tiefenrichtung des Grabens **14** ist. In dem Trennverfahren ist der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** vergleichsweise schwach, so dass die Ätzgeschwindigkeit der Seitenwand des Grabens **14** in der horizontalen Richtung in dem Trennverfahren größer als die in dem Grabenausbildungsverfahren ist. Deshalb wird die Verfahrenszeit des Trennverfahrens kürzer. Weiterhin wird der Schutzfilm **50**, der in dem Trennverfahren ausgebildet wird, durch das Ätzen der horizontalen Richtung in dem Trennverfahren einfach entfernt. Daher bleibt der Schutzfilm **50** auf der Innenwand des Grabens **14** nicht einfach zurück, so dass kein nadelähnlicher Vorsprung auf der Innenwand der Kerbe **110** ausgebildet wird.

**[0131]** Hierbei wird, wenn die Ätzbedingung des Grabenausbildungsverfahrens die Gleiche wie die Ätzbedingung des Trennverfahrens ist, so dass der Schutzeffekt des Schutzfilms **50** schwach ist, das Ätzen in der horizontalen Richtung unterstützt, so dass

die Breite des Grabens **14** breiter wird. Daher wird die vorbestimmte Breite des Grabens **14** nicht erzielt.

**[0132]** In diesem Ausführungsbeispiel wird verhindert, dass der nadelähnliche Vorsprung **K** ausgebildet wird. Weiterhin weist der Sensor **S3**, der durch das vorhergehende Verfahren ausgebildet ist, eine Konvexität **20b** auf dem Boden des beweglichen Abschnitts **20** auf. Genauer gesagt weist, wie in den **Fig. 8** und **Fig. 11E** gezeigt ist, der Boden **20b** des beweglichen Abschnitts, das heißt der Boden der zweiten Siliziumschicht **12**, welche der Siliziumoxidschicht **13** gegenüberliegt, die Konvexität **20b** auf. Diese Konvexität **20b** auf dem Boden **20b** des beweglichen Abschnitts **20** wird durch das vorliegende Experiment bestätigt, welches von den Erfindern untersucht worden ist.

**[0133]** Auch dann, wenn der Boden **20b** des beweglichen Abschnitts **20** die Siliziumoxidschicht **13** berührt, ist die Kontaktfläche des Bodens des beweglichen Abschnitts **20** sehr klein, so dass verhindert wird, dass der bewegliche Abschnitt **20** an der Siliziumoxidschicht **13** haftet. Genauer gesagt verhindert die Konvexität **20b** des beweglichen Abschnitts **20**, dass der bewegliche Abschnitt **20** an der Siliziumoxidschicht **13** haftet. Daher wird ein Klebeeffect des beweglichen Abschnitts **20** verhindert. Der Klebeeffect ist eines der Probleme im Stand der Technik, da der bewegliche Abschnitt derart an der Siliziumoxidschicht **13** klebt, das heißt haftet, dass der Sensor **S3** nicht genau arbeiten kann. Obgleich das Einbringen des Ätzgases in die Kammer **200** und das Einbringen des Abscheidungsgases in die Kammer **200** zeitlich geschaltet werden, so dass das Ätzgas oder das Abscheidungsgas getrennt bezüglich einer Zeit in die Kammer **200** eingebracht wird, können das Ätzgas und das Abscheidungsgas gleichzeitig in die Kammer eingebracht werden. Zum Beispiel kann ein Gemisch des Ätzgases und des Abscheidungsgases in die Kammer **200** eingebracht werden. Weiterhin können, obgleich das Ätzgas aus einem einzelnen Gas ausgebildet ist und das Abscheidungsgas aus einem anderen einzelnen Gas ausgebildet ist, diese aus mehreren Gasen ausgebildet sein.

**[0134]** Weiterhin kann, obgleich das Substrat **10** das SOI-Substrat ist, das Substrat **10** ein anderer Typ eines Substrats sein, das die Isolationsschicht, die innerhalb von diesem angeordnet ist, und die Halbleiterschicht aufweist, die auf der Oberfläche des Substrats **10** angeordnet ist.

**[0135]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines fünften Ausführungsbeispiels der Erfindung.

**[0136]** Die Erfinder haben untersucht, dass es bevorzugt ist, dass ein Seitenverhältnis des Grabens **14** derart festgelegt ist, dass es in einem vorbestimmten Bereich ist. Der Vorteil davon wird wie folgt beschrieben.

ben. **Fig. 12** zeigt einen Graben **14**, der die Kerbe **110** aufweist. Die Tiefe des Grabens **14** ist als  $H$  definiert und die Breite des Grabens **14** ist als  $W$  definiert, so dass das Seitenverhältnis des Grabens **14**  $H/W$  ist. Die **Fig. 13A** bis **Fig. 13D** zeigen die Kerbe **110** des Grabens **14**, der ein unterschiedliches Seitenverhältnis aufweist. Das Seitenverhältnis des Grabens **14**, der in **Fig. 13A** gezeigt ist, ist 11, das Seitenverhältnis in **Fig. 13B** ist 4,4, das Seitenverhältnis in **Fig. 13C** ist 1,7 und das Seitenverhältnis in **Fig. 13D** ist 0,9. Die **Fig. 13A** bis **Fig. 13D** werden durch eine Untersuchung mit einem Mikroskop erzielt. Wenn das Seitenverhältnis des Grabens **14** kleiner wird, wird die Kerbe **110** kleiner, das heißt die Kerbe wird nicht einfach ausgebildet. **Fig. 14** zeigt eine Beziehung zwischen dem Seitenverhältnis einer Kerbenausbildungsrate (das heißt einer Kerbrate). Hierbei ist die Kerbrate eine Breite  $WT$  der Kerbe **110** in der horizontalen Richtung pro Einheitszeit. Daher ist die Kerbrate eine Ausbildungsgeschwindigkeit der Kerbe **110** pro Einheitszeit und weist eine Einheit von  $\mu\text{m}/\text{min}$  auf. Wenn die Kerbrate gleich null ist, wird keine Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. In diesem Fall wird die zweite Siliziumschicht **12** nicht von der Siliziumoxidschicht **13** getrennt, so dass der bewegliche Abschnitt **20** nicht ausgebildet wird.

**[0137]** Wie in **Fig. 14** gezeigt ist, wird, wenn das Seitenverhältnis des Grabens **14** kleiner wird, die Kerbrate der Kerbe **110** kleiner. Wenn das Seitenverhältnis gleich oder größer als 2,5 ist, ist die Kerbrate groß genug, um den beweglichen Abschnitt **20** auszubilden. In diesem Fall wird die Kerbe **110** zweckmäßig ausgebildet, so dass der bewegliche Abschnitt **20** ausgebildet wird. Weiterhin wird die Ätzzeit, das heißt die Verfahrenszeit des Trennverfahrens, kürzer. Wenn beide der benachbarten Gräben **14**, die auf beiden Seiten eines Abschnitts, der ein auszubildender beweglicher Abschnitt ist, der zweiten Siliziumschicht **12** angeordnet sind, das Seitenverhältnis aufweist, das kleiner als 2,5 ist, sind die Kerben **110** von beiden der Gräben **14** nicht ausreichend ausgebildet, so dass der bewegliche Abschnitt **20** nicht von der Siliziumoxidschicht **13** getrennt wird. Daher wird der bewegliche Abschnitt **20** nicht ausgebildet. Wenn mindestens einer der benachbarten Gräben **14**, die auf beiden Seiten des Abschnitts, der ein auszubildender beweglicher Abschnitt ist, der zweiten Siliziumschicht **12** angeordnet ist, das Seitenverhältnis aufweist, das gleich oder größer als 2,5 ist, ist eine der Kerben **110** von beiden der Gräben **14** ausreichend ausgebildet, so dass der bewegliche Abschnitt **20** von der Siliziumoxidschicht **13** getrennt wird. Daher ist der bewegliche Abschnitt **20** geeignet ausgebildet. Daher ist es bevorzugt, dass mindestens einer der benachbarten Gräben **14**, die auf beiden Seiten des Abschnitts, der ein auszubildender beweglicher Bereich ist, der zweiten Siliziumoxidschicht angeord-

net ist, das Seitenverhältnis aufweist, das gleich oder größer als 2,5 ist.

**[0138]** Wie in **Fig. 10B** gezeigt ist, wird der bewegliche Abschnitt **20** durch den Anker **23c** auf der Siliziumoxidschicht **13** gehalten, welcher mit dem beweglichen Abschnitt verbunden ist und von dem Graben **14** umgeben wird. Es ist bevorzugt, dass mindestens zwei Gräben **14**, die auf zwei angrenzenden Seiten des Ankers **23c** angeordnet sind, das Seitenverhältnis aufweisen, das gleich oder kleiner als 2 ist. In diesem Fall wird keine Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet. Dies ist so, da die Kerbe **110** nicht einfach ausgebildet wird, wenn der Graben **14** das Seitenverhältnis aufweist, das kleiner als 2,5 ist, wie in **Fig. 14** gezeigt ist. Weiterhin wird im Wesentlichen keine Kerbe **110** auf der Seitenwand des Grabens **14** ausgebildet, wenn das Seitenverhältnis des Grabens **14** gleich oder kleiner als 2 ist. Daher wird der Anker **23c**, der keine Kerbe **110** aufweist, geeignet ausgebildet und wird der Anker **23c** nicht von der Siliziumoxidschicht **13** getrennt. In den **Fig. 9** bis **Fig. 10B** weisen drei Gräben **14**, die auf drei Seiten des Ankers **23c** ausgenommen der Seite, die mit dem beweglichen Abschnitt **20** verbunden ist, angeordnet sind, das Seitenverhältnis auf, das gleich oder kleiner als 2 ist.

**[0139]** Nachstehend erfolgt die Beschreibung eines sechsten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

**[0140]** Ein Verfahren zum Ausbilden eines Sensors **S4** gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird wie folgt beschrieben. Der Sensor **S4** ist in den **Fig. 15A** und **Fig. 15B** gezeigt. Der Sensor **S4** beinhaltet einen Verdrahtungsabschnitt **419**. Der bewegliche Abschnitt **20** wird durch den Verdrahtungsabschnitt **419** und den Anker **23c** auf der Siliziumoxidschicht **13** gehalten. Der bewegliche Abschnitt **20** ist durch den Verdrahtungsabschnitt **419** elektrisch mit der Elektrodenanschlussfläche **417** verbunden.

**[0141]** In diesem Fall sind der Anker **23c** und der Verdrahtungsabschnitt **419** fest auf der eingebetteten Oxidschicht **13** befestigt, so dass der bewegliche Abschnitt **20** durch den Anker **23c** und den Verdrahtungsabschnitt **419** stabil auf der eingebetteten Oxidschicht **13** gehalten wird.

**[0142]** Derartige Änderungen und Ausgestaltungen verstehen sich als innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung liegend, wie er durch die beigefügten Ansprüche definiert ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei die Schritte des Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, **dadurch gekennzeichnet**, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass der Ätzschritt in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine Laufzeit aufweist, die als TA1 definiert ist, und der Abscheidungsschritt in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine andere Laufzeit aufweist, die als TA2 definiert ist, so dass ein erstes Zeitverhältnis zwischen TA1 und TA2 als TA1/TA2 definiert ist,

der Ätzschritt in dem Schritt eines Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine Laufzeit aufweist, die als TB1 definiert ist, und der Abscheidungsschritt in dem Schritt eines Ausbildens des be-

weglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine andere Laufzeit aufweist, die als TB2 definiert ist, so dass ein zweites Zeitverhältnis zwischen TB1 und TB2 als TB1/TB2 definiert ist, und

das erste Zeitverhältnis von TA1/TA2 derart kleiner als das zweite Zeitverhältnis von TB1/TB2 festgelegt wird, dass der Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als der in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist.

2. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei die Schritte Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, **dadurch gekennzeichnet**, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass der Ätzschritt in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine erste elektrische Energie eines elek-

trischen Vorfelds aufweist, das an das Substrat (10) angelegt wird,  
 der Ätzschritt in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine zweite elektrische Energie des elektrischen Vorfelds aufweist, und  
 die erste Energie des elektrischen Vorfelds derart festgelegt wird, dass sie kleiner als die zweite elektrische Energie des elektrischen Vorfelds ist, so dass der Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist.

3. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei die Schritte des Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, **dadurch gekennzeichnet**, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt

des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass der Ätzschritt in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine erste Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases aufweist,

der Ätzschritt in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine zweite Gasflussgeschwindigkeit des Ätzgases aufweist, und die erste Gasflussgeschwindigkeit derart kleiner als die zweite Gasflussgeschwindigkeit festgelegt ist, dass der Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist.

4. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei die Schritte des Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, **dadurch gekennzeichnet**, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt

des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass der Abscheidungsschritt in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine erste Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases aufweist, der Abscheidungsschritt in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine zweite Gasflussgeschwindigkeit des Abscheidungsgases aufweist, und die erste Gasflussgeschwindigkeit derart größer als die zweite Gasflussgeschwindigkeit festgelegt wird, dass der Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als der in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist.

5. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (10), das eine Isolationsschicht (13) und eine Halbleiterschicht (12) aufweist, wobei die Isolationsschicht (13) innerhalb des Substrats (10) angeordnet ist und die Halbleiterschicht (12) auf einer Oberfläche des Substrats (10) angeordnet ist;

Ausbilden einer Maske (100), die ein vorbestimmtes Muster aufweist, auf der Halbleiterschicht (12);

Ausbilden eines Grabens (14) auf der Halbleiterschicht (12) durch Ätzen der Halbleiterschicht (12) durch die Maske (100), wobei der Graben (14) von der Oberfläche der Halbleiterschicht (12) angeordnet ist und die Isolationsschicht (13) erreicht; und

Ausbilden eines beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch Ätzen einer Seitenwand des Grabens (14), die in der Nähe des Bodens des Grabens (14) angeordnet ist, in eine Richtung, die parallel zu der Isolationsschicht (13) ist, so dass die Halbleiterschicht (12) von der Isolationsschicht (13) getrennt wird, wobei die Schritte des Ausbildens des Grabens (14) und des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) durch ein reaktives Ionenätzverfahren derart durchgeführt werden, dass das Substrat (10) in eine Vakuumkammer (200) eingesetzt wird und ein reaktives Gas in die Kammer (200) eingebracht wird, um in den Plasmazustand überzugehen,

das reaktive Ionenätzverfahren auf eine derartige Weise durchgeführt wird, dass ein Ätzschritt und ein Abscheidungsschritt abwechselnd und wiederholt durchgeführt werden,

der Ätzschritt derart ist, dass ein Ätzgas in dem Plasmazustand die Halbleiterschicht (12) ätzt, und der Abscheidungsschritt derart ist, dass ein Abscheidungsgas in dem Plasmazustand einen Schutzfilm (50) auf der Innenwand des Grabens (14) abscheidet, **dadurch gekennzeichnet**, dass

jeder Schritt des Ausbildens des Grabens (14) und des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) derart eine unterschiedliche Ätzbedingung aufweist, dass ein Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Ab-

schnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist, wobei die Ätzbedingung jeweils derart festgelegt ist, dass der Schritt des Ausbildens des Grabens (14) eine erste Substrattemperatur aufweist, der Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) eine zweite Substrattemperatur aufweist, und die erste Substrattemperatur derart niedriger als die zweite Substrattemperatur festgelegt wird, dass der Schutzeffekt des Schutzfilms (50) in dem Schritt des Ausbildens des beweglichen Abschnitts (20, 21, 22, 24) schwächer als der in dem Schritt des Ausbildens des Grabens (14) ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterschicht (12) aus Silizium besteht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Isolationsschicht (13) aus Siliziumoxid besteht.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

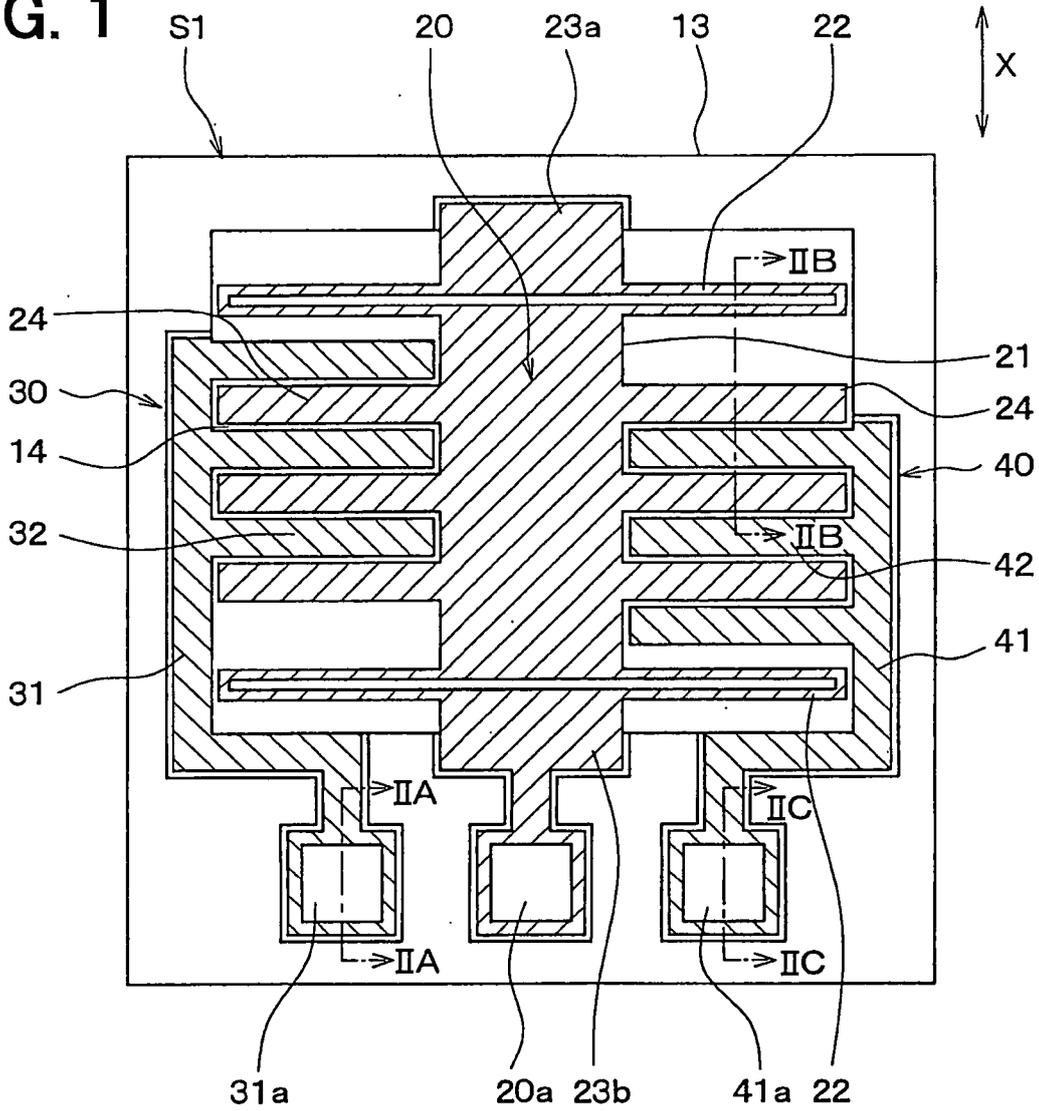


FIG. 2

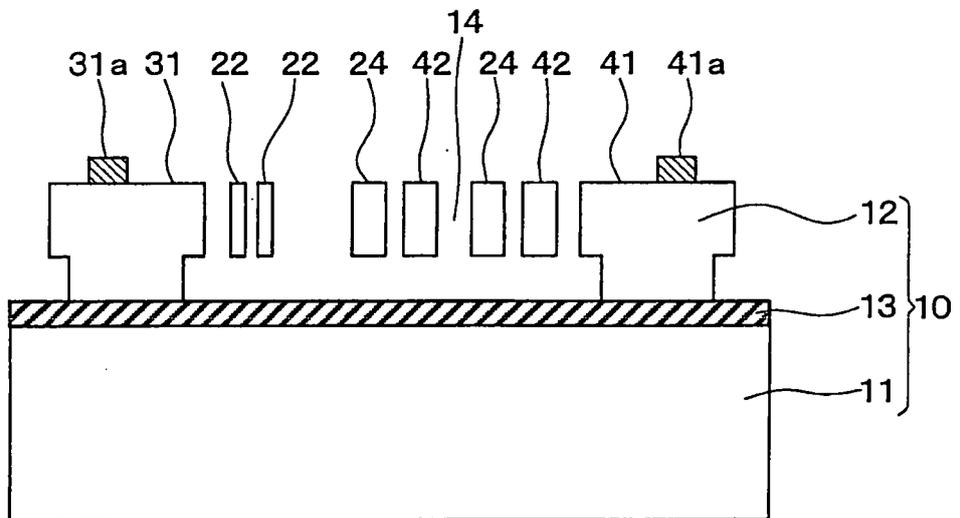


FIG. 3

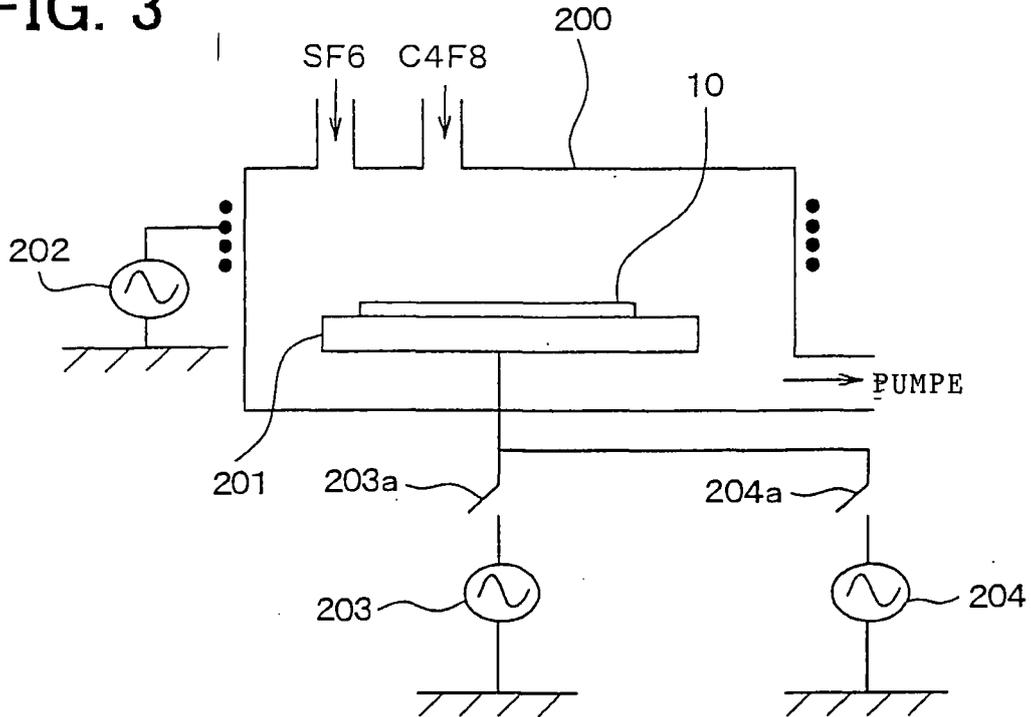


FIG. 5

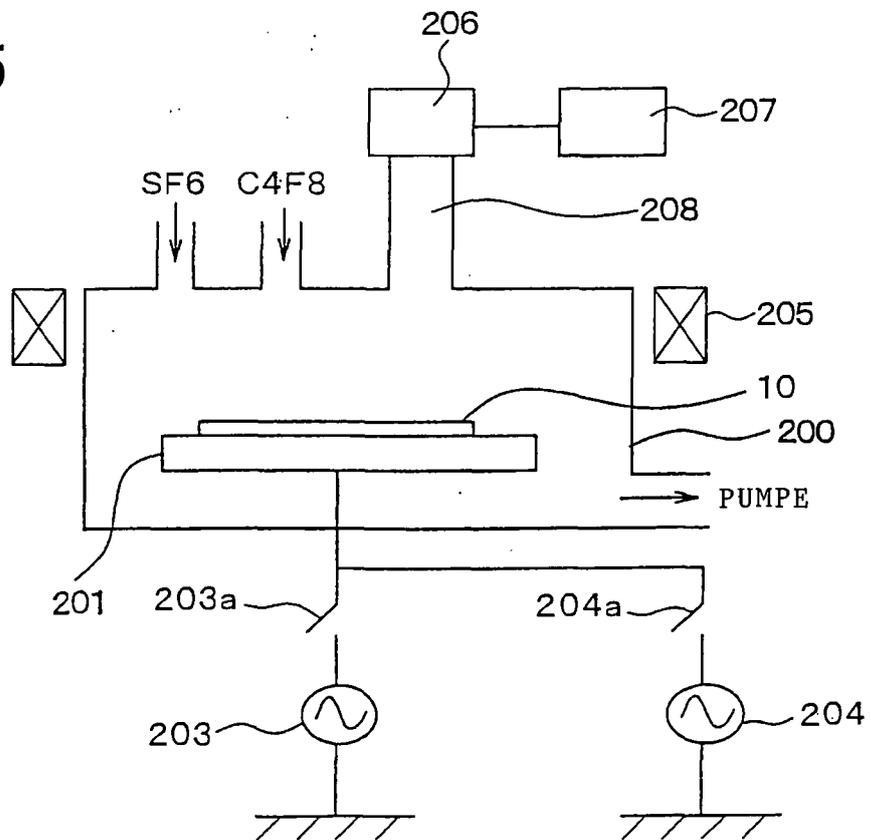


FIG. 4A

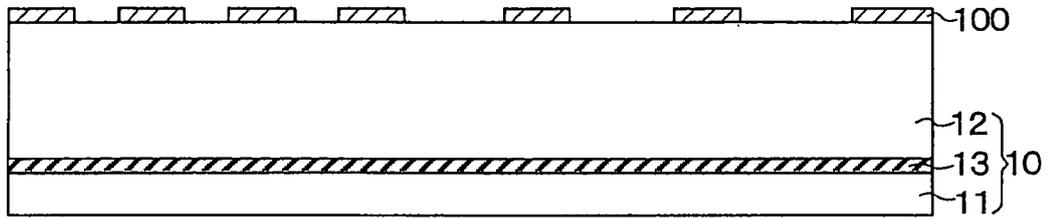


FIG. 4B

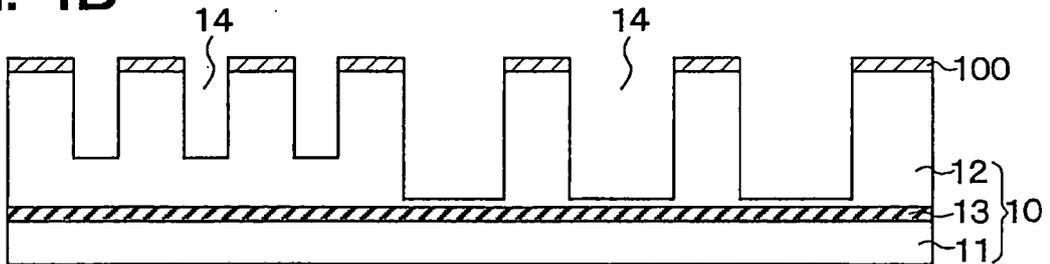


FIG. 4C

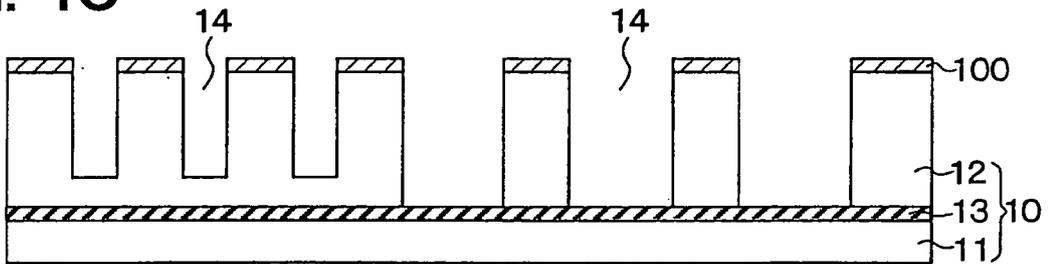


FIG. 4D

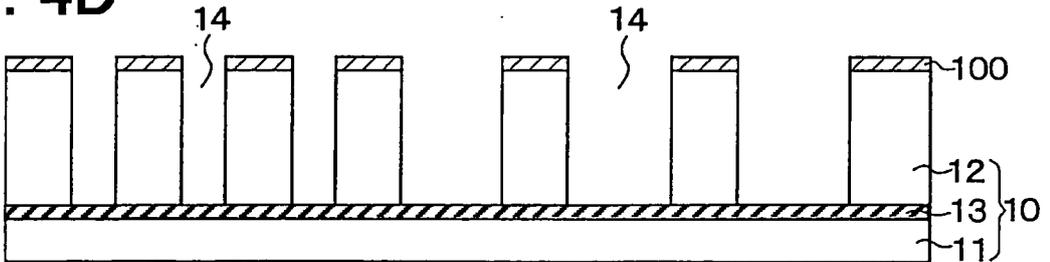


FIG. 4E

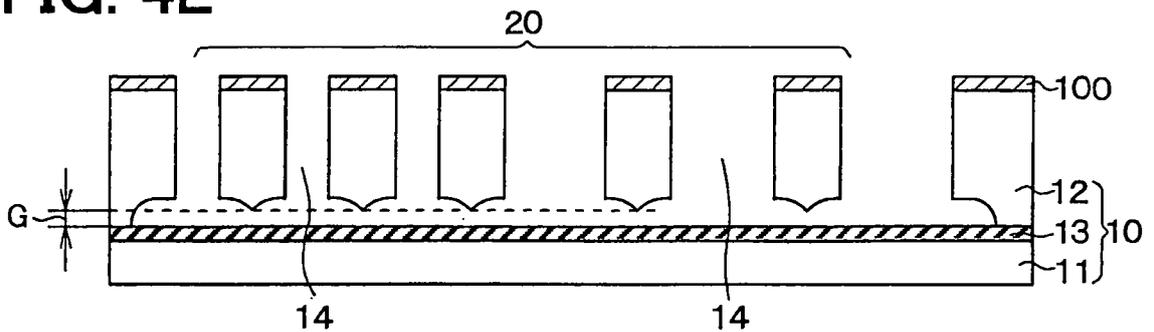


FIG. 6A

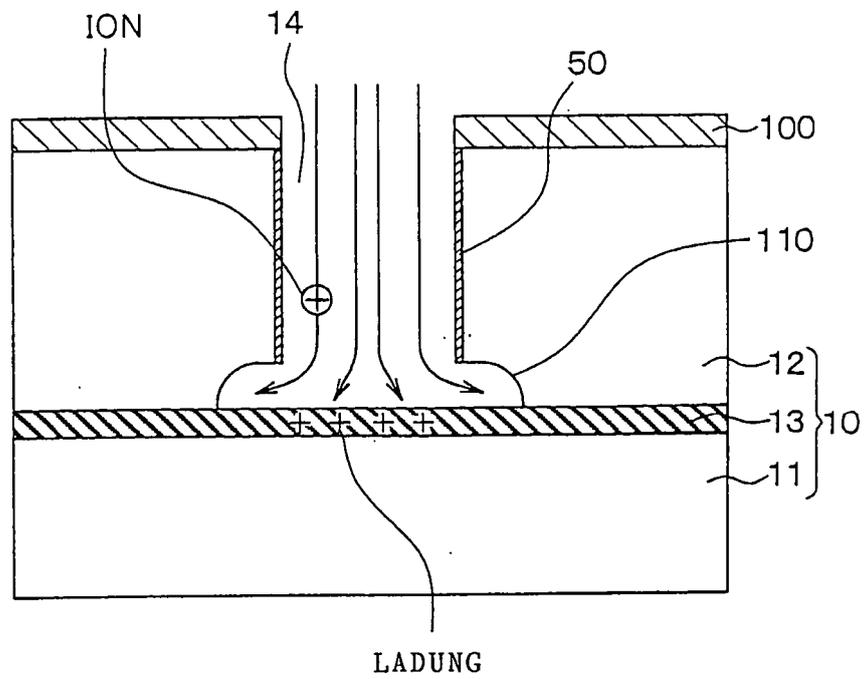


FIG. 6B

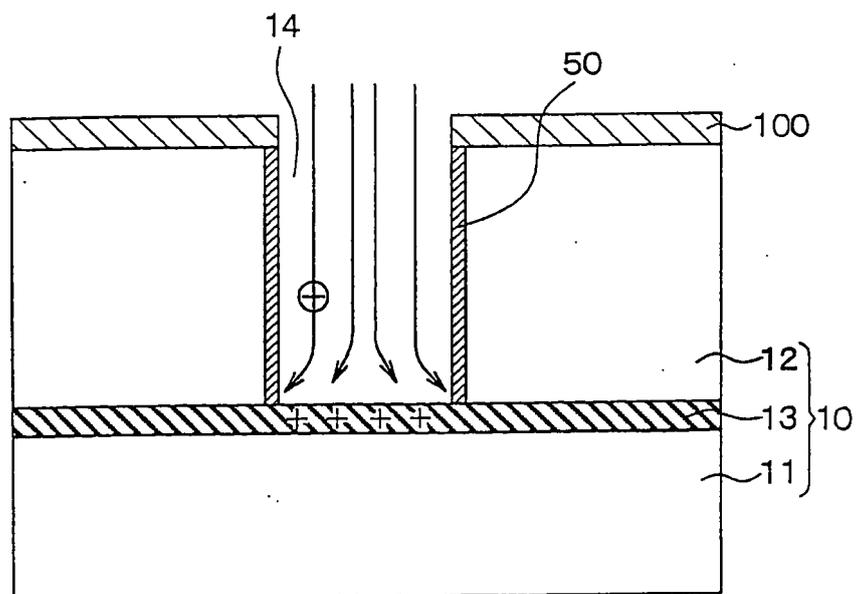
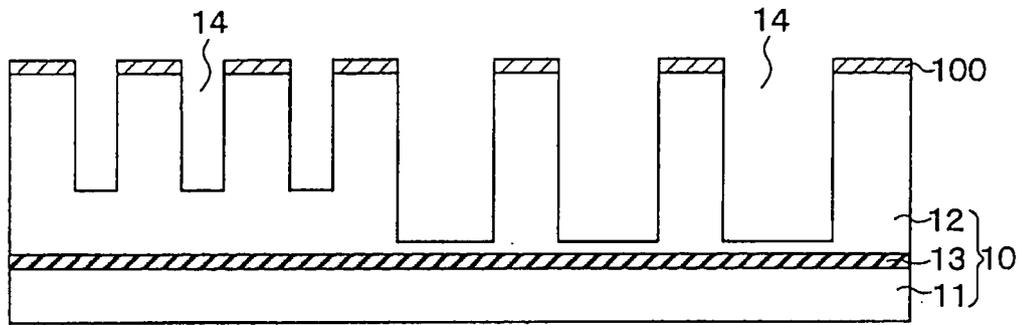
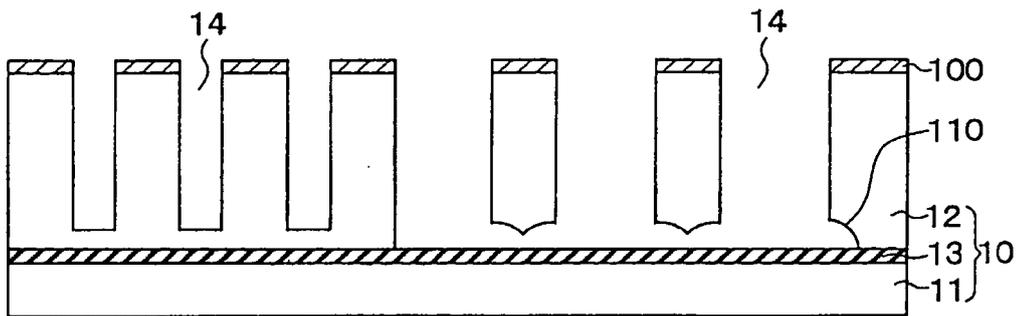


FIG. 7A



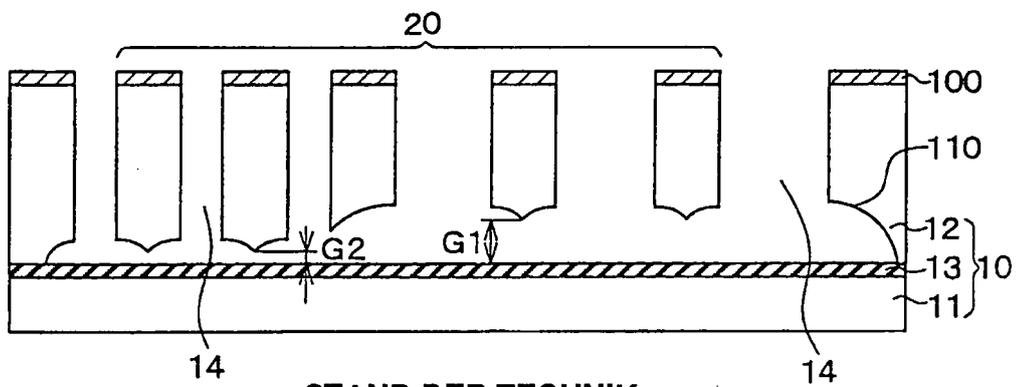
STAND DER TECHNIK

FIG. 7B



STAND DER TECHNIK

FIG. 7C



STAND DER TECHNIK

FIG. 8

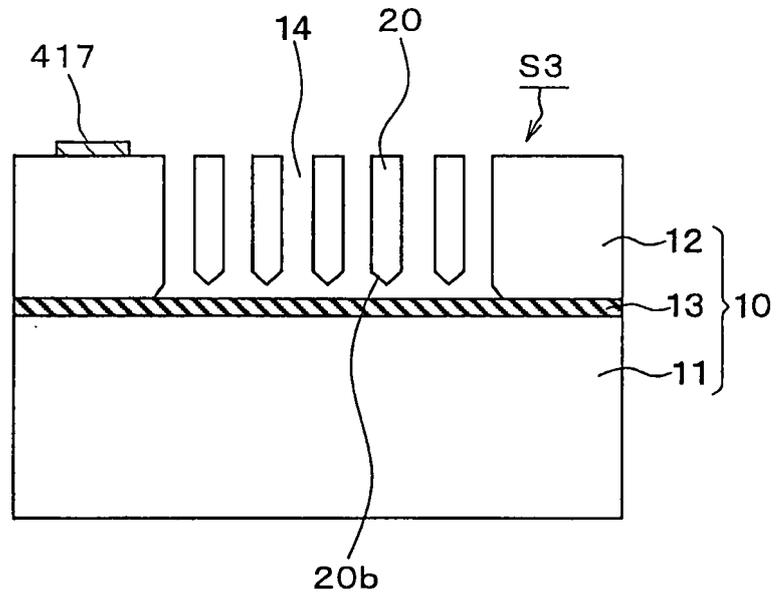


FIG. 9

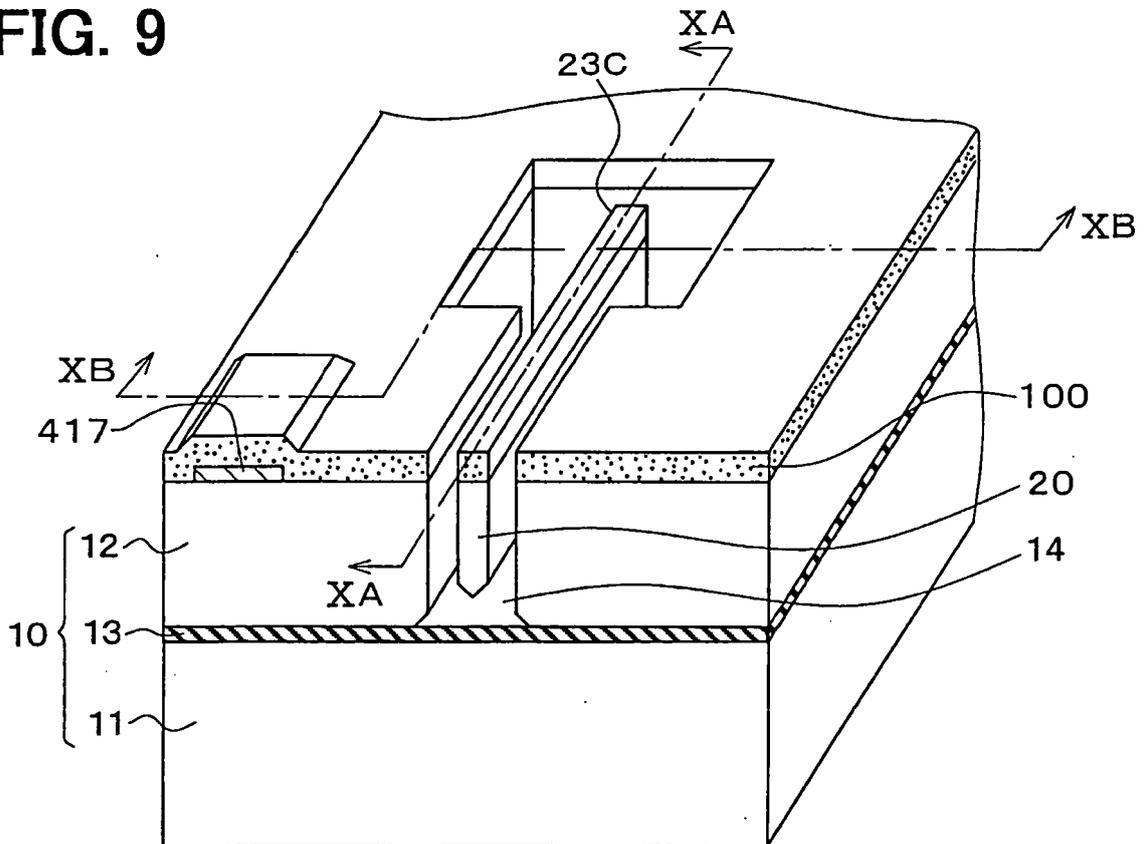


FIG. 10A

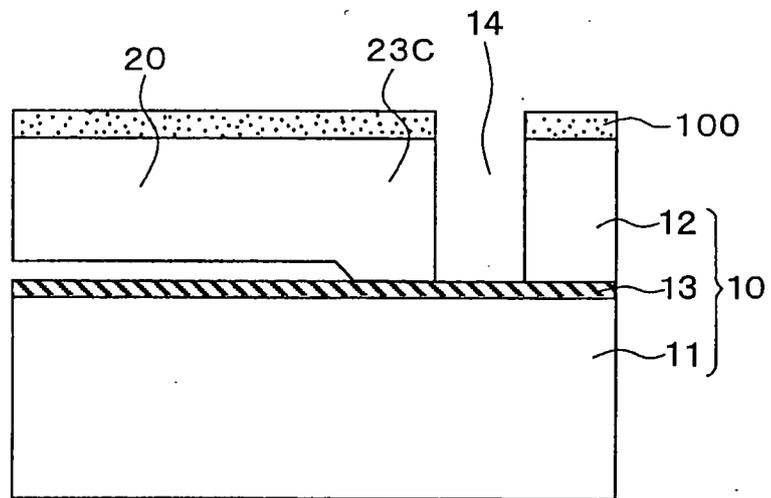


FIG. 10B

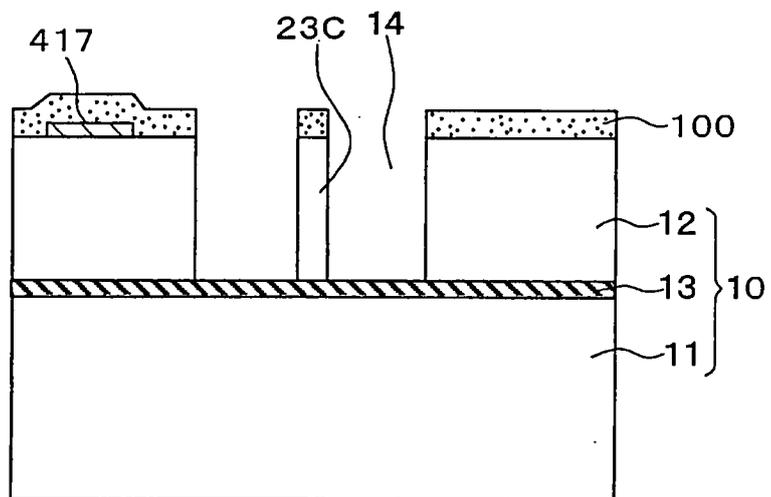


FIG. 11A

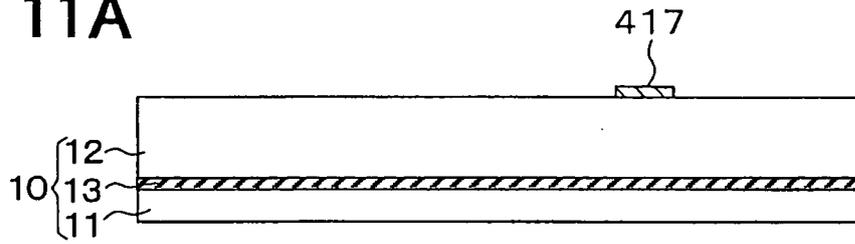


FIG. 11B

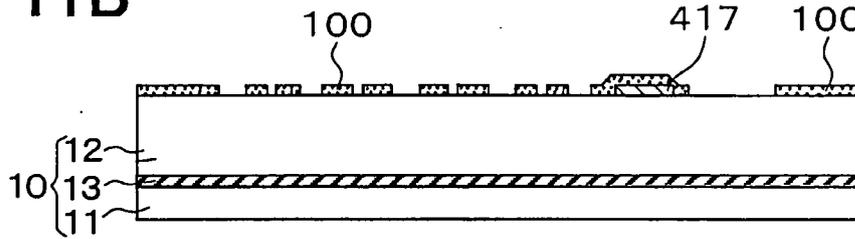


FIG. 11C

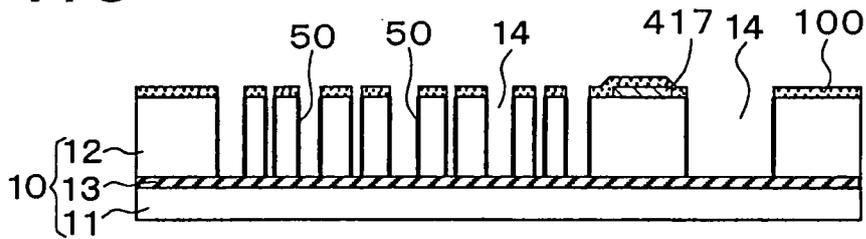


FIG. 11D

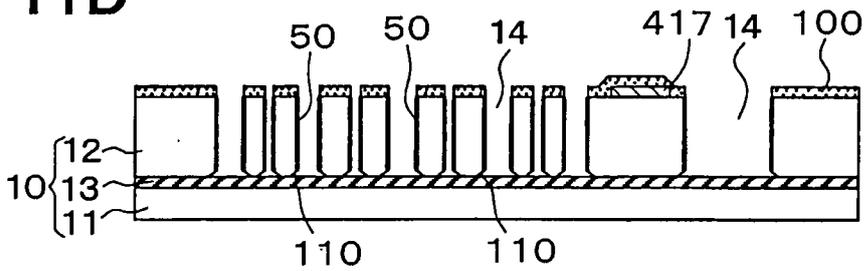
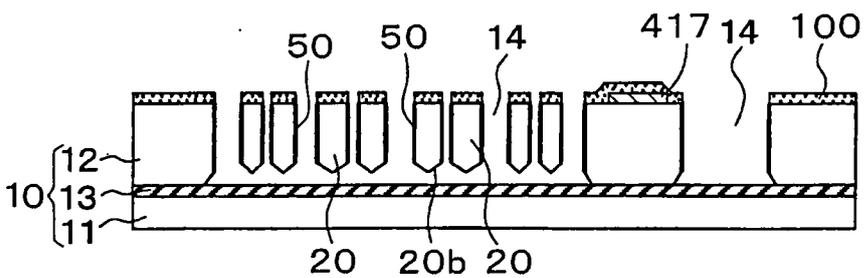
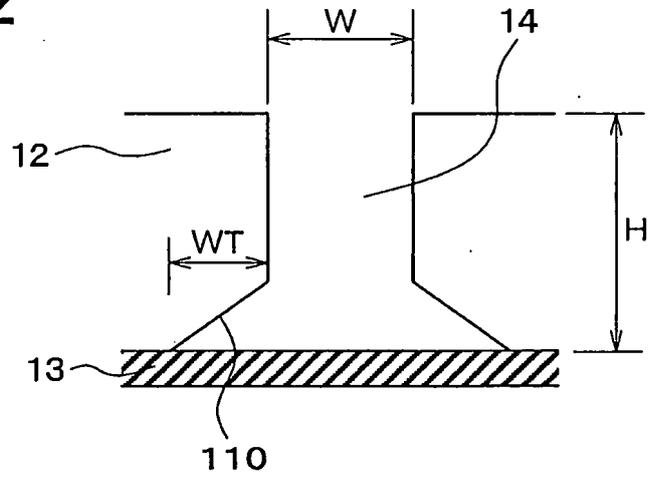


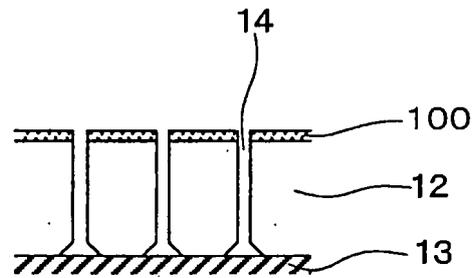
FIG. 11E



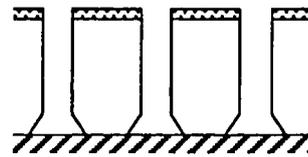
**FIG. 12**



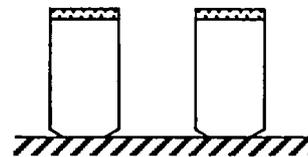
**FIG. 13A**



**FIG. 13B**



**FIG. 13C**



**FIG. 13D**

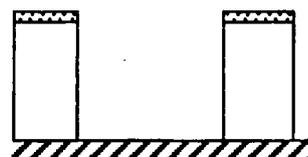


FIG. 14

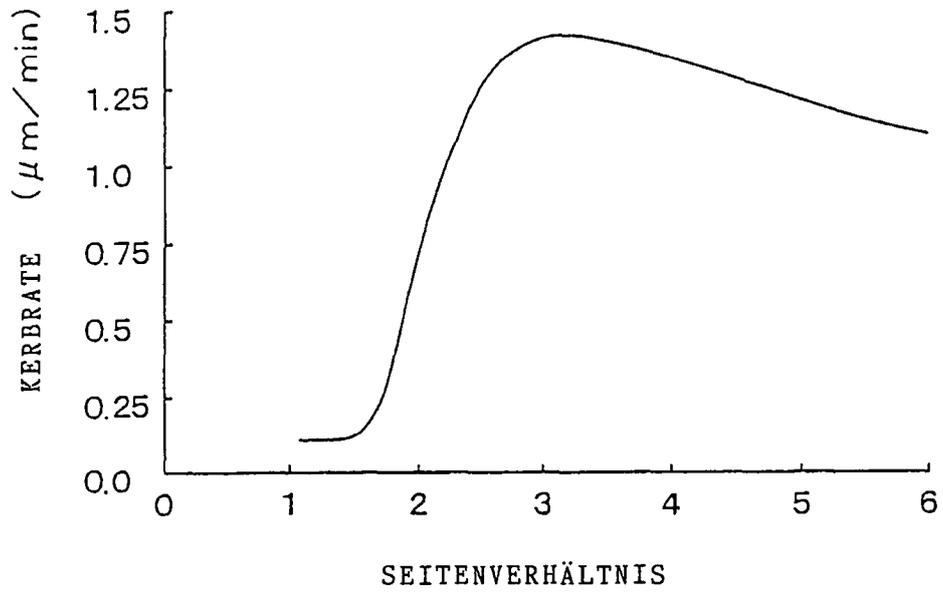


FIG. 16

STAND DER TECHNIK

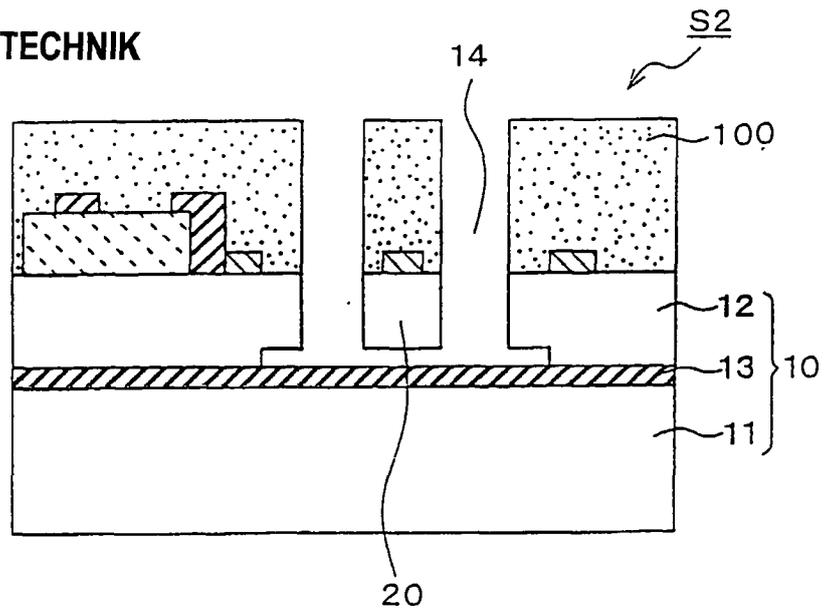


FIG. 15A

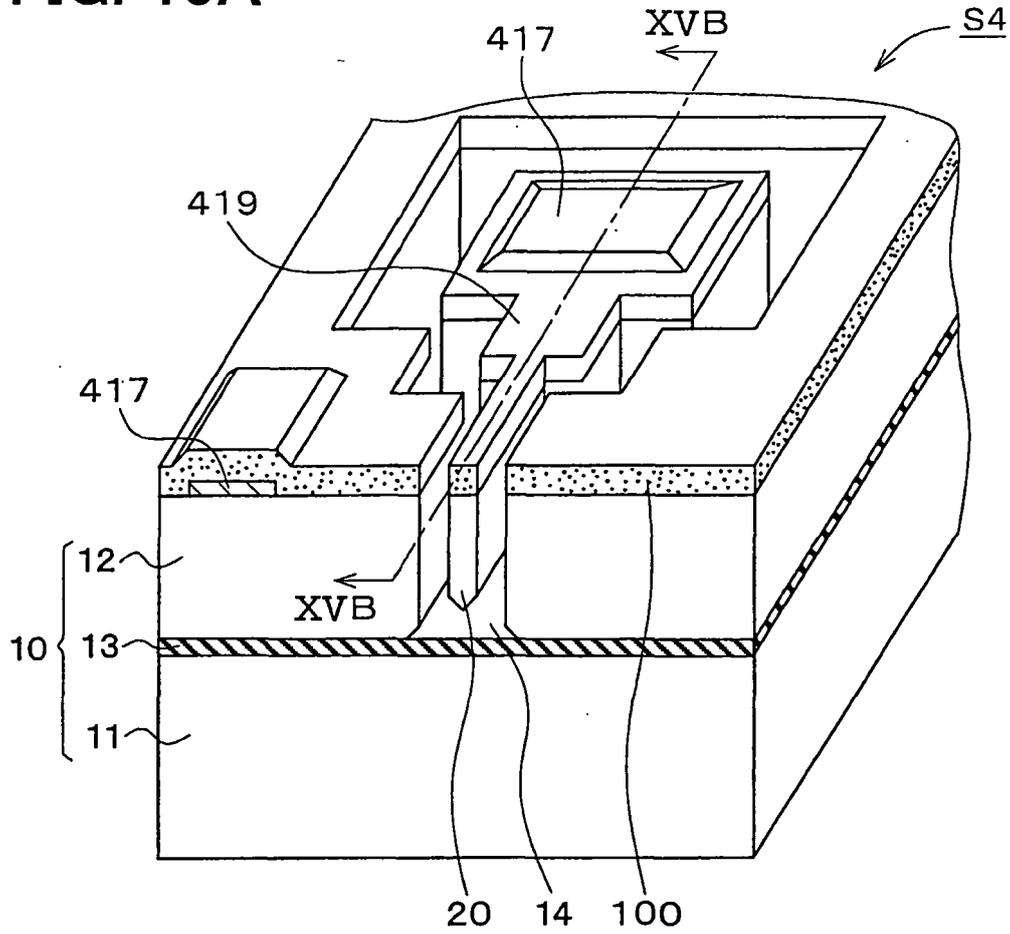


FIG. 15B

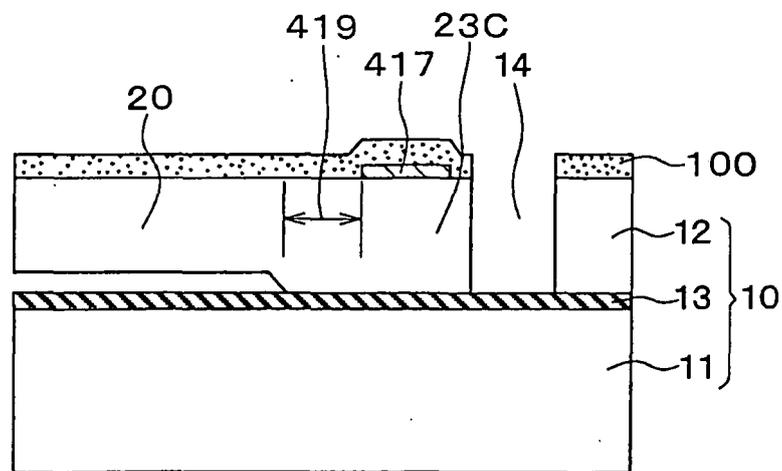


FIG. 17A

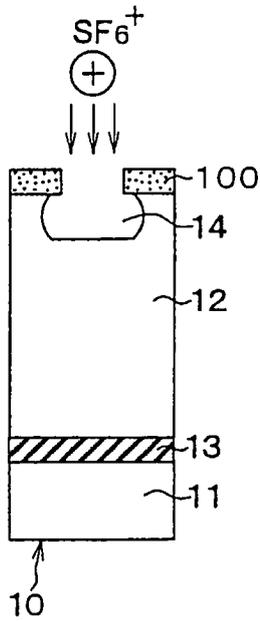


FIG. 17B

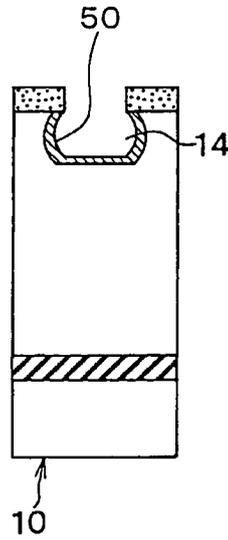
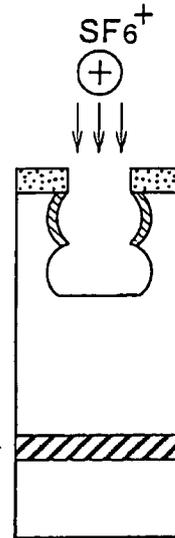


FIG. 17C



STAND DER TECHNIK

FIG. 17D

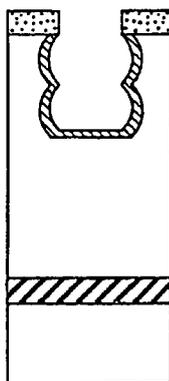
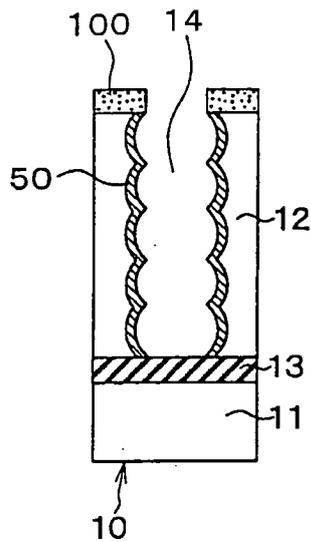


FIG. 17E



STAND DER TECHNIK

FIG. 18A

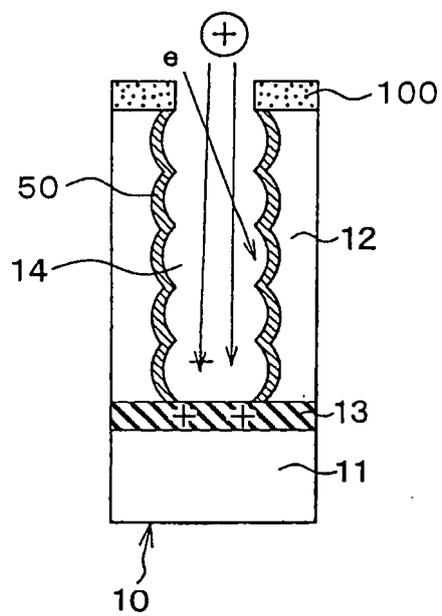
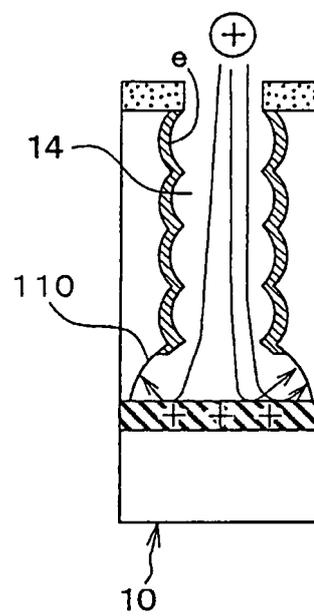
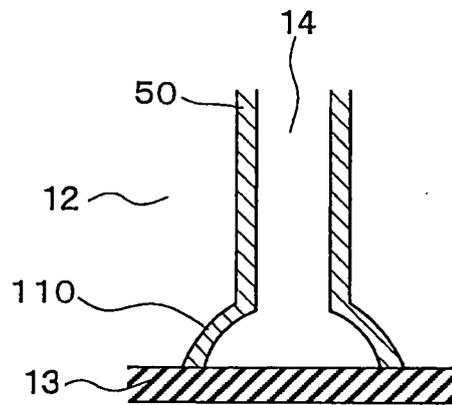


FIG. 18B

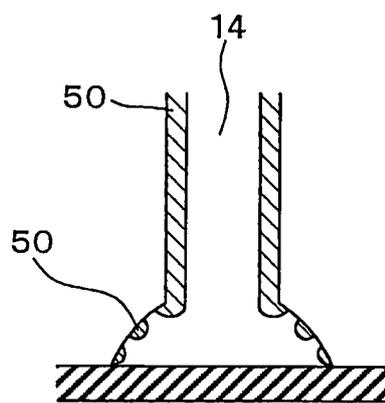


STAND DER TECHNIK

**FIG. 19A**



**FIG. 19B**



**FIG. 19C**

