



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 43 31 798 B4 2004.08.26**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 43 31 798.7**
 (22) Anmeldetag: **18.09.1993**
 (43) Offenlegungstag: **23.03.1995**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **26.08.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 21/64**
G01P 15/08, G01D 5/12, H01L 21/3063,
B81C 5/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

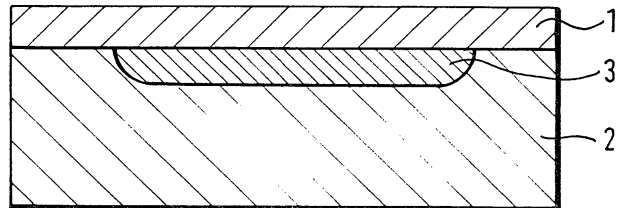
(72) Erfinder:
Benz, Gerhard, Dr.-Phys., 71032 Böblingen, DE;
Marek, Jiri, Dr.-Ing. Dr., 72768 Reutlingen, DE;
Willmann, Martin, Dr.-Ing. Dr., 72760 Reutlingen,
DE; Bantien, Frank, Dipl.-Phys. Dr., 71254
Ditzingen, DE; Muenzel, Horst, Dipl.-Phys. Dr.,
72770 Reutlingen, DE; Laermer, Franz, Dr.-Phys.,
70437 Stuttgart, DE; Offenberg, Michael, Dr.-Ing.
Dr., 72076 Tübingen, DE; Schilp, Andrea, 73525
Schwäbisch Gmünd, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 41 26 954 C2
DE 40 16 472 C2
DE 40 00 903 C1
EP 02 26 091 A2
WO 91/03 074 A1
US-Z.: IEEE Electron Device Letters, Vol. 11,
No. 12, Dec. 1990, S. 588-589;
JP 60-92671 (A), In: Patent Abstracts of Japan;
LANG, W., et al. in: Sensors and Actuators,
Vol. 6, 1993, S. 202-204;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, bei dem ein Si-Substrat mit einer Epitaxieschicht versehen und zwischen der Epitaxieschicht und dem Substrat eine stark dotierte Schicht angeordnet wird, wobei dann Öffnungen in die Epitaxieschicht eingebracht werden, die bis zur stark dotierten Schicht reichen und dann die stark dotierte Schicht anodisiert wird, dadurch gekennzeichnet,

- dass zunächst in das Substrat Dotierstoffe für einen buried layer eingebracht werden,
- dass die Epitaxieschicht aufgewachsen wird, wobei die Dotierstoffe einen buried layer ausbilden,
- dass dabei die Epitaxieschicht von entgegengesetztem Leitungstyp wie das Substrat ist,
- dass durch Ätzen der Epitaxieschicht mikromechanische Strukturen definiert werden,
- und dass der buried layer unterhalb der Strukturen durch einen Ätzprozeß entfernt wird, bei dem die Anodisierung des buried layers ein Prozessschritt ist.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Stand der Technik

[0002] Aus der DE 40 00 903 C1 ist bereits ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Beschleunigungssensoren bekannt, bei dem aus einem zweischichtigen Träger eine Schwingungszunge in der oberen Schicht herausgeätzt wird. Durch Anlegen eines elektrischen Potentials kann die Biegezunge bei der Ätzung des unterhalb der Biegezunge angeordneten Substrats vor einem Ätzangriff geschützt werden, so daß die Biegezunge unterätzt werden kann.

[0003] Aus der WO 91/03074 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem Gräben eingebracht und die Seitenwände dieser Gräben mit einem Siliziumoxid bedeckt werden. Der Boden der Gräben ist nicht mit Oxid bedeckt, und wird so als Ausgangspunkt für eine Unterätzung der durch die Gräben gebildeten Strukturen genutzt.

[0004] Aus dem Artikel von Lang et al. (Application of porous Silicon as a Sacrificial Layer, The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, 6/93, Seite 202) ist ein Verfahren zur Unterätzung von Siliziumstrukturen durch Anodisieren bekannt.

[0005] C.J.M. Eijkel et. al. beschreibt in IEEE Electron Device Letters, Vol. 11, No. 12, S. 588f 1990 ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, welches von einem p-dotierten Siliziumsubstrat ausgeht. Auf dieses Substrat wird eine Maske eingebracht und die Bereiche die von der Maske nicht bedeckt werden durch einen Implantationsprozeß schwach n-dotiert. Die freiliegenden Bereiche der Maske sind dabei so gewählt, dass Balkenstrukturen gebildet werden. In einem darauffolgenden Schritt erfolgt eine anodische Ätzung des p-Siliziums unterhalb der n-dotierten Balkenstrukturen bis diese vollständig unterätzt sind.

[0006] In JP 60-92671 A wird auf ein p-dotiertes Siliziumsubstrat eine Maske aus Siliziumnitrid eingebracht. Die freiliegenden Bereiche werden dann durch einen Anodisierungsprozeß in poröses Silizium umgewandelt. Nachfolgend wird der Bereich des porösen Siliziums mit einer Epitaxieschicht bedeckt und danach die poröse Siliziumschicht durch Ätzen entfernt.

Aufgabenstellung

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß die Anodisierung

von Silizium mit vielen anderen Prozessen der Halbleiterelektronik kompatibel ist. Infolgedessen lassen sich völlig neuartige mikromechanische Bauelemente erzeugen bzw. die Herstellung von bereits bekannten mikromechanischen Bauelementen vereinfacht werden. Durch die Verwendung von mehrschichtigen Substraten läßt sich eine besonders exakte Dimensionskontrolle der unterätzten Bereiche und der Strukturen erzielen. Durch die Dotierstoffkonzentration läßt sich das Anodisierungsverhalten von sehr schnell anodisierend bis fast garnicht anodisierend beeinflussen.

[0008] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind weitere vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich. In Abhängigkeit vom Anodisierungspotential kann das Silizium entweder abgetragen oder in poröses Silizium umgewandelt werden, welches dann in einem weiteren Verfahrensschritt entfernt wird. Es steht somit eine Vielzahl von möglichen Ätzverfahren zur Verfügung, die jeweils in Abhängigkeit von den sonstigen Erfordernissen der Struktur bzw. des Herstellungsverfahrens genutzt werden können. Besonders einfach erfolgt die Anodisierung in Flußsäure, wobei sich dieses Anodisierungsmittel auch problemlos in Verbindung mit Schaltungen der Halbleiterelektronik verwenden läßt. Insbesondere ist es möglich, bereits fertiggestellte Schaltkreise durch eine einfache Abdeckung mit Fotolack vor dem Angriff der Flußsäure zu schützen.

[0009] Verwendung einer weiteren Schicht lassen sich die geometrischen Dimensionen des mikromechanischen Bauelements exakt kontrollieren. Weiterhin sind derartige mehrschichtige Substrate auch zur Aufnahme von standardmäßigen Schaltkreiselementen geeignet und die Prozessschritte zur Herstellung der Schaltkreise können auch zur Herstellung der mikromechanischen Bauelemente genutzt werden. Die Anodisierung kann besonders einfach durch Kontaktierung auf der dem Ätzmedium abgewandten Seite des Mehrschichtsubstrats erfolgen.

Ausführungsbeispiel

[0010] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen die **Fig. 1 bis 3** ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens.

sBeschreibung des Ausführungsbeispiels

[0011] In den **Fig. 1 bis 3** wird ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäße Verfahren gezeigt. In der **Fig. 1** wird ein mehrschichtiges Substrat mit einer oberen Siliziumschicht **1** (Deckschicht) einer unteren Siliziumschicht **2** (Substrat) und einer weiteren Siliziumschicht **3** (Buried Layer) gezeigt. Die Herstellung eines derartigen mehrschichtigen Substrats ist bei-

spielsweise aus der Herstellung von Bipolarschaltkreisen gut bekannt. Dazu werden zunächst in einem Siliziumsubstrat **2** durch Implantation oder Diffusion Dotierstoffe für den Buried Layer eingebracht. Durch eine Epitaxie oder einen anderen geeigneten Prozeß wird dann auf der Oberseite eine Deckschicht **1** erzeugt. Beispielsweise ist es auch denkbar, für die Deckschicht **1** durch Verbindungsprozesse (Bonden) eine dünne Siliziumplatte aufzubringen.

[0012] Durch einen geeigneten Ätzprozeß werden nun, wie in der **Fig. 2** gezeigt, Gräben **5** eingebracht, die eine Struktur **6** definieren. Die Strukturen **6** können jedoch auch durch additive Prozesse erzeugt werden, bei denen auf der weiteren Siliziumschicht **3** Strukturen hinzugefügt werden. In einem weiteren Prozeßschritt (**Fig. 3**) werden nun die Strukturen **6** unterätzt, d.h. der unter den Strukturen **6** angeordnete Buried Layer **3** wird entfernt. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird zur Freilegung, d.h. der Unterätzung der zuvor erzeugten Siliziumstrukturen **6** Gebrauch gemacht vom elektrochemischen Ätzverhalten verdünnter wässriger Flußsäurelösungen, die gegebenenfalls gepuffert sein können mit Zusätzen wie Ammonium(bi)fluorid, Ammoniumacetat, Essigsäure oder einer geeigneten Mischung aus diesen Komponenten.

[0013] Beim Anodisieren von Silizium in wässriger (gepuffert oder ungepuffert) Flußsäurelösung bei verschiedenen angelegten elektrischen Anodisierungspotentialen und daraus resultierenden Anodisierungsstromdichten gibt es drei Bereiche mit unterschiedlichem Ätzverhalten: in einem ersten Bereich mit betragsmäßig relativ niedrigen elektrischen Anodisierungspotentialen und einer exponentiellen Strom-/Spannungscharakteristik wird an der mit der Ätzlösung in Kontakt stehenden Siliziumoberfläche ganzflächig poröses Silizium gebildet. Die Eigenschaften des beim Anodisieren erzeugten porösen Siliziums hängen wesentlich von der HF-Konzentration, der Anodisierungsstromdichte und der Siliziumdotierung ab. Mit betragsmäßig wachsendem angelegtem elektrischen Potential d.h. zunehmender Stromdichte geht die Stromdichte/Spannungscharakteristik in einen flacheren, annähernd linearen Verlauf über. In diesem Kennlinienbereich wird die Waferoberfläche nur noch teilweise in poröses Silizium umgewandelt, andere Teile der Oberfläche werden bereits "normal" geätzt. Bei noch höheren Anodisierungspotentialen sättigt die Stromdichte und die gesamte Waferoberfläche wird geätzt, wobei ein polierender Effekt zutage tritt (Elektropolitur). Für niedrige HF-Konzentrationen tritt Sättigung der Anodisierungsstromdichte und damit Elektropolitur bereits bei kleinen Werten ein, wachsende HF-Konzentration verschiebt die Stromsättigung zu größeren Werten und begünstigt die Entstehung von porösem Silizium.

[0014] Die beschriebenen Effekte sind darüber hinaus in hohem Maße abhängig von der Siliziumdotierung. Bei identischem angelegtem Anodisierungspotential werden bevorzugt p⁺- und n⁺-Bereiche (Dotie-

rung > 10¹⁷cm⁻³) in poröses Silizium verwandelt bzw. aufgelöst, deutlich langsamer p-Siliziumbereiche und extrem langsam n-Bereiche (Dotierung < 10¹⁶ cm⁻³). Damit können Opferschichten höherer Dotierung selektiv zu Siliziumbereichen niedrigerer Dotierung oder bevorzugt n-Dotierung letztendlich aufgelöst werden.

[0015] Zum Freiätzen der Strukturen wird der Siliziumwafer rückseitig in geeigneter Weise (über den Elektrolyten oder über einen metallischen Kontakt) mit einem anodischen Potential kontaktiert, während die gegebenenfalls an erforderlicher Stelle geeignet passivierte Vorderseite (z.B. durch Photoresist) einer wässrigen Flußsäurelösung ausgesetzt wird, in die eine geeignete Gegenelektrode (z.B. Palladium oder Platin) taucht.

[0016] Dabei wird die höherdotierte vergrabene Siliziumschicht bzw. die vergrabenen höherdotierten Siliziumbereiche selektiv zu den niedrigdotierten Bereichen darüber und darunter und besonders selektiv gegenüber n-Silizium je nach Höhe des angelegten Anodisierungspotentials/der dadurch bewirkten Anodisierungsstromdichte bzw. der HF-Konzentration

- aufgelöst, die niedrigdotierten Strukturen also unmittelbar freigeätzt, oder
- in poröses Silizium verwandelt.

[0017] Damit ist sowohl eine vertikale als auch eine laterale Dimensionskontrolle (bei Einsatz lokal begrenzter höherer Dotierungskonzentrationen durch maskierte Diffusion bzw. Ionenimplantation) der aufgelösten oder umgewandelten Bereiche gegeben.

[0018] Wird das Anodisierungspotential bzw. die dadurch bewirkte Anodisierungsstromdichte so niedrig gewählt, daß eine Umwandlung in poröses Silizium erfolgt, so kann letzteres anschließend sehr schnell selektiv thermisch oxidiert werden. Der vergrabene anodisierte Bereich wird also in ein vergrabenes Oxid umgewandelt. Dazu wird das Silizium bei Temperaturen von ca. 800°–1100°C einem wasserhaltigen und sauerstoffhaltigen Gas ausgesetzt. Der so behandelte Wafer kann bei Bedarf nachfolgend noch weiteren Hochtemperaturprozeßschritten unterworfen werden um z.B. seine Dotierung zu verändern (Hochtemperaturdiffusion). Das gebildete Oxid kann später mit HF selektiv aufgelöst werden.

[0019] Alternativ kann das erzeugte poröse Silizium, wenn die selektive Umwandlung unter den freizulegenden Strukturen abgeschlossen ist, auch durch kurzzeitige Erhöhung des Anodisierungspotentials/der Anodisierungsstromdichte bis in den Elektropoliturbereich hinein sehr schnell aufgelöst werden.

[0020] Alternativ ist es möglich, das unter den freizulegenden Strukturen selektiv erzeugte poröse Silizium sehr schnell und selektiv aufzulösen in:

- alkalischen (NaOH, KOH) oder ammoniakalischen (NH₄OH, TMAH) wässrigen Lösungen, die vorzugsweise kalt eingesetzt werden können
- Lösungen von wässriger Flußsäure (HF) und einem Oxidationsmittel wie H₂O₂ oder HNO₃ oder

HClO₃, oder K₂Cr₂O₇ oder CrO₃, gegebenenfalls mit Zusatz von Puffern (z.B. CH₃COOH)
– einem Dampfgemisch von HF und HNO₃ oder HF und H₂O₂.

schen Kontaktierung zugängliche Opferschichtbereiche über das entsprechend vorgespannte Substrat auf Anodisierungspotential zu legen.

Patentansprüche

[0021] Wird der Anodisierungsvorgang insgesamt bei hohem Anodisierungspotential, d.h. im Elektropoliturbereich durchgeführt, so erfolgt unmittelbar eine Auflösung ohne vorherige Ausbildung von porösem Silizium bei evtl. verminderter Dotierungsselektivität.

[0022] Die angegebenen Prozeßabfolgen führen letztlich allesamt zu freien Strukturen auf der Wafer-vorderseite. Besonders vorteilhaft können dabei Strukturen aus einkristallinem Silizium hergestellt werden, so daß die hervorragenden mechanischen Eigenschaften von einkristallinem Silizium genutzt werden können. Weiterhin kann in eine solche Siliziumschicht eine elektronische Schaltung integriert werden.

[0023] Geeignete Dotierungsschichtfolgen für den beschriebenen Prozeß sind nachfolgend aufgelistet.

Deckschicht n⁻ p⁻ p⁻ p⁻ n⁻

Buried Layer p⁺ n⁺ n⁺ p⁺ n⁺ n⁺

Substrat p⁻ p⁻ p⁻ p⁻ n⁻ n⁻

(n⁻, p⁻ ≈ 10¹⁵...10¹⁶ cm⁻³; n⁺, p⁺ ≈ 10¹⁷ ...10¹⁸ cm⁻³)

[0024] Die ersten beiden Dotierungsschichtfolgen entsprechen sowohl in ihrer Reihenfolge als auch in ihren Dotierungskonzentrationen bei Bipolarprozessen üblichen Waferaufbauten und sind damit besonders vorteilhaft. Bei vergrabener n⁺-Layer in einem p-Substrat tritt eine nahezu perfekte Begrenzung des Anodisierungsvorgangs auf die n⁺-Gebiete ein, indem der Anodisierungsvorgang in den n-Dotierungsausläufern mit abnehmender n-Dotierstoffkonzentration bis zum völligen Stillstand gebremst wird (Bereich des p-n-Übergangs stellt für den Prozeß eine unüberwindliche Barriere dar).

[0025] Das elektrische Potential wird von der Wafer-rückseite nicht von der Wafervorderseite wie beim elektrochemischen Ätzen in alkalischen Ätzmedien (pn-Ätzstopptechnik) angelegt. Der elektrische Rückseitenkontakt kann über den Elektroyten selbst geschehen, indem der Wafer zwischen zwei Elektrodenplatten in die Lösung getaucht wird, oder man verwendet eine metallisierte Waferrückseite. Im letzteren Fall kann die metallisierte Waferrückseite mit dem elektrischen Kontakt entweder durch polymeres Material (z.B. Photoresist) oder durch Einsatz einer Ätzdose gegen verdünnte Flußsäurelösung zuverlässig geschützt werden. Der Schutz eines vorderseitigen Kontakts beim Ätzen in alkalischen Medien nach der konventionellen Technik ist dagegen nur schwer möglich.

[0026] Die maßgeblichen auftretenden pn-Übergänge (Dioden) sind in Vorwärtsrichtung gepolt, nicht in Sperrichtung; anders als beim elektrochemischen Ätzstopp in alkalischen Medien schaden allfällige Sperrschichtdefekte in den großflächigen pn-Übergängen nicht. Insbesondere ist es mit dieser Technik möglich, vergrabene, nicht unmittelbar einer elektri-

1. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, bei dem ein Si-Substrat mit einer Epitaxieschicht versehen und zwischen der Epitaxieschicht und dem Substrat eine stark dotierte Schicht angeordnet wird, wobei dann Öffnungen in die Epitaxieschicht eingebracht werden, die bis zur stark dotierten Schicht reichen und dann die stark dotierte Schicht anodisiert wird, **dadurch gekennzeichnet,**

- dass zunächst in das Substrat Dotierstoffe für einen buried layer eingebracht werden,
- dass die Epitaxieschicht aufgewachsen wird, wobei die Dotierstoffe einen buried layer ausbilden,
- dass dabei die Epitaxieschicht von entgegengesetztem Leitungstyp wie das Substrat ist,
- dass durch Ätzen der Epitaxieschicht mikromechanische Strukturen definiert werden,
- und dass der buried layer unterhalb der Strukturen durch einen Ätzprozeß entfernt wird, bei dem die Anodisierung des buried layers ein Prozeßschritt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass–

- ein Si-Substrat mit einer Dotierstoffkonzentration von weniger als 1 × 10¹⁶ cm⁻³ verwendet wird,
- eine Epitaxieschicht mit einer Dotierstoffkonzentration von weniger als 1 × 10¹⁶ cm⁻³ aufgewachsen wird,
- und die Dotierung der stark dotierten Schicht bis zu einer Dotierstoffkonzentration von mehr als 1 × 10¹⁷ cm⁻³ ausgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Anodisierung ein Potential an das Silizium angelegt wird, sodass das Silizium abgetragen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Anodisierung ein Potenzial angelegt wird, sodass das Silizium in poröses Silizium umgewandelt und in einem weiteren Verfahrensschritt entfernt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Silizium durch einen Ätzprozeß entfernt wird, der poröses Silizium schneller ätzt als massives Silizium.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das poröse Silizium in Siliziumoxid umgewandelt wird und dann das Siliziumoxid entfernt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Anodisierungsmittel Flusssäure verwendet wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

FIG. 1

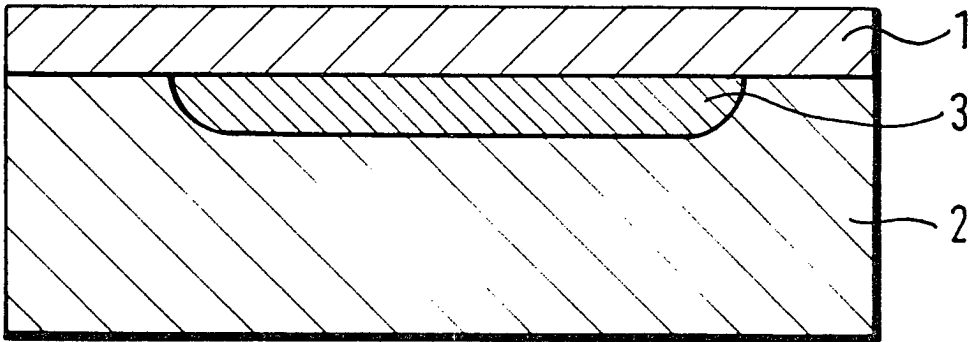


FIG. 2

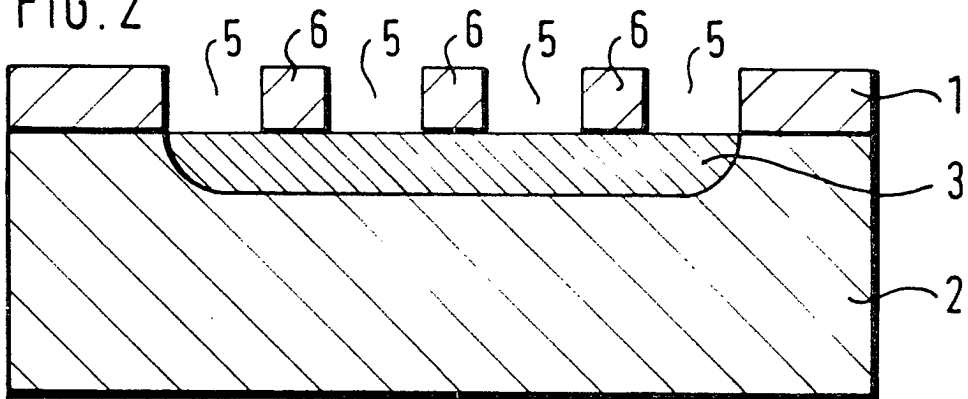


FIG. 3

