

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Januar 2002 (31.01.2002)

PCT

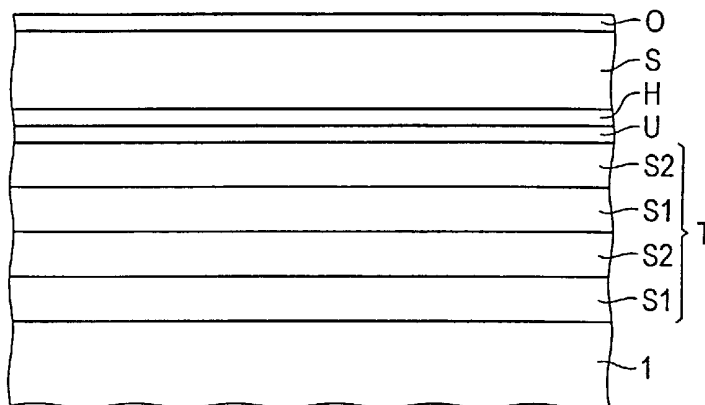
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/09131 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01G (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): AIGNER, Robert [DE/DE]; Einsteinstr. 104/8-13, 81675 Muenchen (DE). ELBRECHT, Lueder [DE/DE]; Theodor-Dombart-Strasse 1, 80805 Muenchen (DE). HERZOG, Thomas, Rainer [DE/DE]; Altlaufstr. 29, 85635 Hohenkirchen-Siegertsbrunn (DE). MARKSTEINER, Stephan [DE/DE]; Cramer-Klett-Str. 33, 85579 Neubiberg (DE). NESSLER, Winfried [AT/DE]; Ulrich von Huttenstr. 24, 81739 Muenchen (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/07604
- (22) Internationales Anmeldedatum: 3. Juli 2001 (03.07.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 35 423.8 20. Juli 2000 (20.07.2000) DE (74) Anwälte: GINZEL, Christian usw.; Zimmermann & Partner, Postfach 330 920, 80069 München (DE).
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669 Muenchen (DE). (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SEMICONDUCTOR ELEMENT COMPRISING A SEQUENCE OF LAYERS FOR CONVERTING ACOUSTIC OR THERMAL SIGNALS AND ELECTRICAL VOLTAGE CHANGES INTO EACH OTHER AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: HALBLEITERBAUELEMENT MIT EINER SCHICHTENFOLGE ZUM INEINANDER UMWANDELN VON AKUSTISCHEN ODER THERMISCHEN SIGNALEN UND ELEKTRISCHEN SPANNUNGSÄNDERUNGEN UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) Abstract: The sequence of layers has a lower electrode (U), an upper electrode (O) and a piezoelectric or pyroelectric layer (S) which is located between them. An auxiliary layer (H) is located between the lower electrode (U) and said layer (S), said auxiliary layer ensuring that the orientation of the layer (S) is homogenous as it grows during the production process. The auxiliary layer (H) preferably consists essentially of amorphous silicon, amorphous silicon oxide or amorphous silicon nitride.

(57) Zusammenfassung: Die Schichtenfolge weist eine untere Elektrode (U), eine obere Elektrode (O) und eine dazwischen angeordnete Schicht (S) auf, die piezoelektrisch oder pyroelektrisch ist. Zwischen der unteren Elektrode (U) und der Schicht (S) ist eine Hilfsschicht (H) angeordnet, die einem homogen orientierten Aufwachsen der Schicht (S) beim Herstellungsverfahren dient. Die Hilfsschicht (H) besteht bevorzugt im wesentlichen aus amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid.



WO 02/09131 A2



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

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

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Beschreibung

Halbleiterbauelement mit einer Schichtenfolge zum ineinander
Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elek-
5 trischen Spannungsänderungen und Verfahren zu dessen Herstel-
lung

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement mit einer
Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder
10 thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen so-
wie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Ein solches Halbleiterbauelement weist typischerweise eine
untere Elektrode, eine obere Elektrode und eine dazwischen
15 angeordnete Schicht auf, die für den Fall, daß akustische
Schwingungen erzeugt oder nachgewiesen werden, piezoelek-
trisch ist, und für den Fall, daß thermische Signale erzeugt
oder nachgewiesen werden, pyroelektrisch ist. In beiden Fäl-
len wird eine ausgeprägte Textur der Kristallstruktur der
20 Schicht angestrebt, um einen möglichst hohen piezoelektri-
schen bzw. pyroelektrischen Koppelkoeffizienten zu erzielen.
Je größer dieser Koppelkoeffizient ist, um so ausgeprägter
sind die meßbaren elektrischen Spannungsänderungen bei einem
vorgegebenen akustischen bzw. thermischen Signal.

25 Ein Halbleiterbauelement, bei dem durch Anlegen elektrischer
Spannungsänderung akustische Schwingungen durch den piezo-
elektrischen Effekt erzeugt werden, ist z.B. in Dubois et al,
„Properties of aluminum nitride thin films for piezoelectric
30 transducers and microwave filter applications“, Appl. Phys.
Lett. Vol. 74, No.20, S.3032-3034 beschrieben. Eine Schich-
tenfolge, durch die die akustischen Schwingungen erzeugt wer-
den, besteht aus einer unteren und oberen Elektrode und eine
dazwischen angeordnete piezoelektrische Schicht aus AlN. Zur
35 Verbesserung der Textur wird vorgeschlagen, die untere Elek-
trode aus Platin zu erzeugen. Durch Aufwachsen der piezoelek-
trischen Schicht auf Platin wird eine bessere Textur der

Schicht erzielt, da Platin und AlN ähnliche Kristalleigenschaften aufweisen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Halbleiterbauelement mit einer Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen anzugeben, deren piezoelektrische oder pyroelektrische Schicht im Vergleich zum Stand der Technik eine verbesserte Textur aufweist. Ferner soll ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Halbleiterbauelements angegeben werden.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Halbleiterbauelement mit einer Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen, wobei die Schichtenfolge eine untere Elektrode, eine obere Elektrode und eine dazwischen angeordnete Schicht, die piezoelektrisch oder pyroelektrisch ist, aufweist, wobei zwischen der unteren Elektrode und der Schicht eine Hilfsschicht angeordnet ist, die einem homogen orientierten Aufwachsen der Schicht beim Herstellungsverfahren dient, wobei die Hilfsschicht im wesentlichen aus amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid besteht.

Ferner wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements mit einer Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen, bei dem als Teil der Schichtenfolge eine untere Elektrode, darüber eine Hilfsschicht, darüber eine Schicht, die piezoelektrisch oder pyroelektrisch ist, und darüber eine obere Elektrode erzeugt werden, wobei die Hilfsschicht derart erzeugt wird, daß sie ein homogenes Aufwachsen der Schicht fördert.

Bevorzugt besteht die Hilfsschicht im wesentlichen aus amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid. Es hat sich gezeigt, daß aufgrund der Hilfsschicht,

insbesondere aus im wesentlichen amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid, eine wesentlich bessere Textur der piezoelektrischen oder pyroelektrischen Schicht erzielt wird. Der zugrundeliegende physikalische Effekt besteht darin, daß die erfindungsgemäße Hilfsschicht eine chemisch streng definierte Oberfläche bildet, so daß auf sämtlichen Bereichen der Hilfsschicht das Wachstum der piezoelektrischen oder pyroelektrischen Schicht mit dem selben Element beginnt. Durch diese Oberfläche wird sichergestellt, daß sich die Kristallite der Schicht in definierte Polarisation anlagern.

Die Oberfläche der Hilfsschicht kann passiviert sein. Beispielsweise kann die Hilfsschicht an der Oberfläche in einer Dicke von ca. 1 bis 2 nm oxidiert sein. Alternativ kann die Hilfsschicht beispielsweise nitridiert sein.

Aufgrund der geringen elektrischen Leitfähigkeit der Hilfsschicht ist es nicht erforderlich, die Hilfsschicht zu strukturieren. Die Hilfsschicht kann als ganzflächige Schicht auf Halbleiterscheiben verbleiben, ohne daß es zu Kurzschlüssen zwischen den Elektroden kommt.

Die Hilfsschicht wirkt ferner als Diffusionsbarriere für Verunreinigungen, die aus Schichten unterhalb der unteren Elektrode während der Abscheidung der Schicht herausdiffundieren. Diese Eigenschaft der Hilfsschicht ist besonders vorteilhaft, da es sich gezeigt hat, daß bereits kleinste Verunreinigungen durch Sauerstoff oder Wasserstoff das Wachstum der piezo- bzw. pyroelektrischen Schicht empfindlich stören.

Das Herstellungsverfahren eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist besonders einfach durchführbar, da insbesondere eine Abscheidung von amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid kompatibel zur CMOS-Fertigung ist.

Die Schicht besteht beispielsweise im wesentlichen aus AlN. Es sind jedoch auch andere piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien geeignet.

5 Bei Halbleiterbauelementen, durch die akustische Schwingungen erzeugt oder nachgewiesen werden, bestimmt die Dicke der Schicht die Frequenz der akustischen Schwingungen. Ist das Halbleiterbauelement beispielsweise ein Resonator bei 2 GHz, so beträgt die Dicke der Schicht etwa 2 μm .

10

Die untere Elektrode und/oder die obere Elektrode bestehen beispielsweise im wesentlichen oder teilweise aus Wolfram, Molybdän, Platin oder einer Aluminiumlegierung, oder aus einer Kombination dieser Metalle.

15

Es hat sich gezeigt, daß neben der chemischen Stabilität der Oberfläche, auf der die Schicht abgeschieden wird, auch die Rauheit der Oberfläche die Qualität der Textur der Schicht wesentlich beeinflußt. Das Kristallwachstum erfolgt lokal
20 senkrecht zur Oberfläche. Auf rauhen Oberflächen wachsen Kristallite zunächst mit großen Richtungsschwankungen, bis sie sich gegenseitig im Wachstum blockieren und nur die im wesentlichen senkrecht gerichteten Kristallite weiterhin wachstumsfähig bleiben. Die Dicke jenes Teils der Schicht, in dem
25 dieser Selektionsprozeß erfolgt, ist stark von der Rauheit der Oberfläche abhängig. Da dieser Anteil der Schicht schlechte piezo- bzw. pyroelektrische Eigenschaften aufweist, verschlechtert sich der Koppelkoeffizient der Schicht auf einer rauhen Oberfläche deutlich. Um die Rauheit der Oberfläche
30 zu reduzieren, ist es vorteilhaft, die untere Elektrode zu erzeugen, indem ein geeignetes Material abgeschieden und anschließend durch chemisch-mechanisches Polieren (CMP) geglättet wird. Dieser Prozeßschritt ist besonders vorteilhaft, wenn die untere Elektrode durch Abscheiden von Wolfram in einem CVD-Verfahren erzeugt wird, da eine solche Elektrode ohne
35 Glätten eine besonders hohe Rauheit aufweist. Da das chemisch-mechanische Polieren nur zum Glätten verwendet wird,

genügt bereits ein kurzer CMP-Schritt, bei dem lediglich 10 bis 100 nm abgetragen werden.

Die Hilfsschicht kann durch Sputtern aufgebracht werden. Dieser Schritt kann insitu oder exsitu durchgeführt werden. Im ersten Fall wird die Schicht gleich nach dem Sputtern aufgebracht. Im zweiten Fall wird die Hilfsschicht vor dem Aufbringen der Schicht der Atmosphäre ausgesetzt.

Das Halbleiterbauelement kann beispielsweise als Bulk-Acoustic-Wave Resonator oder als Filter mit einem solchen Bulk-Acoustic-Wave Resonator ausgestaltet sein. Dazu ist die Schichtenfolge auf einem Träger angeordnet, der so ausgestaltet ist, daß er durch die Schichtenfolge erzeugte akustische Schwingungen reflektiert. Beispielsweise besteht der Träger aus einer Anzahl von übereinander angeordneten Schichten, die alternierend eine hohe und eine niedrige akustische Impedanz aufweisen.

Die Dicke der Hilfsschicht ist vorzugsweise so gering wie möglich, damit Reflexionsbedingungen des Träger möglichst gut erfüllt werden. Beispielsweise beträgt die Dicke der Hilfsschicht zwischen 5 nm und 50 nm.

Das Halbleiterbauelement kann auch als Oberflächenwellen-Resonator oder Dünnschicht-Resonator ausgestaltet sein.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Figur näher erläutert.

30

Die Figur zeigt einen Querschnitt durch einen Bulk-Acoustic-Wave-Resonator mit einer Schichtenfolge bestehend aus einer unteren Elektrode, einer Hilfsschicht, einer Schicht und einer oberen Elektrode und aus einem Träger.

35

Im Ausführungsbeispiel wird ausgehend von einem Substrat 1 aus Silizium ein Träger T erzeugt, indem eine Folge von

Schichten S1, S2 abgeschieden wird, die abwechselnd eine hohe akustische Impedanz und eine niedrige akustische Impedanz aufweisen. Die Schichten S1 mit der hohen akustischen Impedanz bestehen aus Wolfram und sind ca. 850nm dick. Die Schichten S2 mit der niedrigen akustischen Impedanz bestehen aus SiO₂ und sind ca. 750nm dick.

Auf dem Träger T wird eine Schichtenfolge erzeugt. Dazu wird zunächst zur Bildung einer unteren Elektrode U Wolfram in einer Dicke von ca. 400nm abgeschieden. Anschließend wird die untere Elektrode U durch chemisch-mechanisches Polieren geglättet, wobei Wolfram bis zu einer Dicke von ca. 60nm abgetragen wird. Auf der unteren Elektrode U wird eine ca. 20nm dicke Hilfsschicht H erzeugt, indem amorphes Silizium gesputtert wird. Ohne das Substrat 1 zu belüften, wird anschließend eine piezoelektrische Schicht S erzeugt, indem AlN in einer Dicke von ca. 2µm abgeschieden wird. Darüber wird zur Erzeugung einer oberen Elektrode O Aluminium in einer Dicke von ca. 400nm abgeschieden.

20

Das erzeugte Bauelement ist ein Bulk-Acoustic-Wave-Resonator. Der Träger T wirkt als Bragg-Reflektor, der akustische Wellen, die durch die Schichtenfolge erzeugt werden, reflektiert. Die Dicken der Schichten S1, S2 sind so ausgelegt, daß sie bei der Betriebsfrequenz des Bulk-Acoustic-Wave-Resonators $\frac{1}{4}$ der akustischen Wellenlänge im jeweiligen Material entsprechen.

25

Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement mit einer Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen,
5 - wobei die Schichtenfolge eine untere Elektrode (U), eine obere Elektrode (O) und eine dazwischen angeordnete Schicht (S), die piezoelektrisch oder pyroelektrisch ist, aufweist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a ß
10 - zwischen der unteren Elektrode (U) und der Schicht (S) eine Hilfsschicht (H) angeordnet ist, die einem homogen orientierten Aufwachsen der Schicht (S) beim Herstellungsverfahren dient.
- 15 2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem die Hilfsschicht (H) im wesentlichen aus amorphem Silizium, amorphem Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid besteht.
- 20 3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Schicht (S) im wesentlichen aus AlN besteht.
4. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die untere Elektrode (U) und die obere Elektrode (O)
25 im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Platin, einer Aluminiumlegierung oder einer Kombination dieser Metalle bestehen.
5. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Dicke der Hilfsschicht (H) zwischen 5nm und 50nm
30 beträgt.
6. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das als Bulk-Acoustic-Wave Resonator oder als Filter ausgestaltet ist, wobei die Schichtenfolge auf einem Träger (T)
35 angeordnet ist, der so ausgestaltet ist, daß er durch die Schichtenfolge erzeugte akustische Schwingungen reflektiert.

7. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem die untere Elektrode (U) an einer Oberfläche, die an die Hilfsschicht (H) angrenzt, poliert ist.

5 8. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements mit einer Schichtenfolge zum ineinander Umwandeln von akustischen oder thermischen Signalen und elektrischen Spannungsänderungen,
bei dem als Teile der Schichtenfolge eine untere Elektrode
10 (U), darüber eine Schicht (S), die piezoelektrisch oder pyroelektrisch ist, und darüber eine obere Elektrode (O) erzeugt werden,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a ß
vor Erzeugung der Schicht (S) über der unteren Elektrode (U)
15 eine Hilfsschicht (H) derart erzeugt wird, daß sie ein homogen orientiertes Aufwachsen der Schicht (S) fördert.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
bei dem die Hilfsschicht (H) im wesentlichen aus amorphem Silizium,
20 Siliziumoxid oder amorphem Siliziumnitrid erzeugt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
bei dem die Schicht (S) im wesentlichen aus AlN erzeugt wird.
25

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
bei dem die untere Elektrode (U) und die obere Elektrode (O) im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Platin, einer Aluminiumlegierung oder einer Kombination dieser Metalle erzeugt
30 werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
bei dem die Hilfsschicht (H) in einer Dicke zwischen 5nm und 50nm aufgebracht wird.
35

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12,

bei dem die untere Elektrode (U) erzeugt wird, indem Wolfram durch ein CVD-Verfahren abgeschieden und anschließend durch chemisch-mechanisches Polieren geglättet wird.

- 5 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13,
bei dem das Halbleiterbauelement als Bulk-Acoustic-Wave Reso-
nator oder als Filter erzeugt wird, wobei die Schichtenfolge
auf einem Träger (T) erzeugt wird, der so erzeugt wird, daß
er durch die Schichtenfolge erzeugte akustische Schwingungen
10 reflektiert.